



Tartu Ülikool
Kehakultuuriteaduskond
Spordibioloogia Instituut

Saima Kuu

**EALISED MUUTUSED SKELETILIHASTE
KONTRAKTIILSETES OMADUSTES NAISTEL**

Magistritöö
liikumis- ja sporditeaduste erialal
(kinesioloogia ja biomehaanika)

Juhendaja: professor, biol. knd. Mati Pääsuke

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mati Pääsuke'.

Tartu 2002

Avaldatud publikatsioonid

Artiklid rahvusvahelistes ajakirjades:

1. Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H, **Sirkel S**, Sander P. Age-related differences in twitch contractile properties of plantarflexor muscles in women. *Acta Physiologica Scandinavica* 2000, 170: 51-57.
2. Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H, Sander P, **Sirkel S**. Twitch potentiation capacity of plantarflexor muscles in women with increasing age. *Biology of Sport* 2002, 19 (2) (in press).
3. Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H, Sander P, **Kuu S**. Age-related differences in knee extensor muscle strength and vertical jumping performance in women. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (accepted).

Muud artiklid:

1. Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H, **Sirkel S**, Sander P. Maximal and body-mass related knee extension isometric strength in women of increasing age. *Papers on Anthropology IX*. Tartu University Press, Tartu, 2000, pp. 162-170.
2. Pääsuke M, Ereline J, Gapejeva J, **Sirkel S**, Sander P. Sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste ealised iseärasused naistel. *Sportipedagoogika instituudi teadus- ja õppemetoodiliste tööde kogumik VIII*. Atlex, Tartu, 2000, lk 201-211.
3. Pääsuke , Ereline J, Gapejeva J, **Sirkel S**, Sander P. Sääre kolmpealihase kontraktiilsed omadused noortel, kesk- ja vanemaealistel naistel. *Konverentsi "Teadus, sport ja meditsiin" kogumik*. Atlex, Tartu, 2000, lk. 75-77.

4. Sander P, **Sirkel S**, Pääsuke M, Ereline J, Gapejeva J. Hüppevõime ealised iseärasused naistel. Konverentsi “Teadus, sport ja meditsiin” kogumik. Atlex, Tartu, 2000, lk. 105-107.

Teesid

1. **Sirkel S**. Tervist edendava võimlemisega tegelevate noorte ja varajases keskeas naiste lihaste funktsionaalne võimekus. *Kehakultuuriteaduskonna I üliõpilaste teadusliku konverentsi teesid*. Tartu Ülikool, Tartu, 1999, lk. 23.
2. **Sirkel S**. Motoorse võimekuse näitajad 20-50-aastastel võimlemisega tegelevatel naistel. *Kehakultuuriteaduskonna II üliõpilaste teadusliku konverentsi teesid*. Tartu Ülikool, Tartu 2000, lk 24.
3. **S. Kuu**. Age-related differences in twitch contractile properties of plantarflexor muscles in women. *Abstracts of the 7th Sport Kinetics Conference*. Tartu University Press, Tartu 2001, pp. 68-69.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
TÖÖS KASUTATUD LÜHENDID JA SÜMBOLID	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1. Vananemisprotsessi üldiseloostus	7
1.2. Vananemisega kaasnevad muutused inimese närvi-lihassüsteemis	9
1.3. Vananemise iseärasused naistel	15
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	16
3. TÖÖ METOODIKA	17
3.1. Vaatlusalused	17
3.2. Dünamomeetria ja elektrostimulatsioon	18
3.3. Uuringu korraldus	19
3.4. Andmete statistiline töötus	21
4. TÖÖ TULEMUSED	22
4.1. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud	22
4.2. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni näitajad	22
4.3. Korrelatiivsed seosed vaatlusaluste vanuse, antropomeetriliste näitajate ja sääre kolmpealihase kontraktilsete omaduste vahel	29
5. TÖÖ TULEMUSTE ARUTELU	33
6. JÄRELDUSED	40
KASUTATUD KIRJANDUS	41
SUMMARY	51
LISA	52

SISSEJUHATUS

Vananemine ja sellega kaasnevad muutused organismis on tänapäeval üks enim käsitletavaid probleeme. Me tahame teada, mis meist saab ja mis meiega juhtub, kui aastaid järjest juurde tuleb ja kehaline töövõime langema hakkab. Ka näiteks tervisesporditreeneri vaatevinklist on vajalik teada vanusega kaasnevaid muutusi närvi-lihassüsteemis selleks, et kohandada treeningprogrammi vastavalt eale.

Inimese liikumisaparaat teeb vananedes läbi rea struktuurseid ja funktsionaalseid muutusi. Peamised funktsionaalsed muutused vananevates lihastes on nende jõugenereerimise võime ja kontraktsioonikiiruse langus (Vandervoort, Hayes 1989; Aoyagi, Shephard 1992; Vandervoort 2002). Tahtelise maksimaalse isomeetrilise ja isokineetilise jõu muutuste hindamiseks seoses vananemisega on tehtud hulgaliselt uuringuid. Arvatakse, et üks olulisem lihaste jõu alanemist mõjutav tegur vananemisel on lihasmassi vähenemine ning sealjuures lihaskiudude hulga vähenemine (Aniansson et al. 1986; Lexell et al. 1988, Vandervoort 2002), kuid neid muutusi omakorda kutsuvad esile mitmed erinevad faktorid, nagu näiteks hormonaalse tasakaalu muutus (Häkkinen, Pakarinen 1993), kehalise aktiivsuse langus (Mälkiä et al. 1994) jt. Elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni parameetrite muutustele seoses vananemisega on märgatavalt vähem tähelepanu pööratud, seda eriti naiste puhul, kuigi just need annavad olulist informatsiooni lihastes toimuvatest füsioloogilistest protsessidest. Varasemad uuringud on küll näidanud üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja kiiruse vähenemist ning kontraktsioonifaasi kestuse pikenemist vanematel inimestel võrreldes noortega (Davies, White 1983; Vandervoort, McComas 1986; Klein et al. 1988), kuid seejuures ei ole selge, millises vanusest alates need muutused algavad ja missugused lihase kontraktiilseid omadusi iseloomustavad parameetrid on tundlikumad vananemise suhtes.

Eelpool kirjeldatud probleemist lähtuvalt püstitati käesoleva uurimustöö eesmärgiks võrrelda 20-70-aastaste naiste skeletilihaste kontraktiilseid omadusi kümnendite kaupa, et välja selgitada, millises vanuses olulised funktsionaalsed nihked algavad ja milline on nende dünaamika vananemisel. Uuringu objektiks valiti sääre kolmpealihase, mis täidab olulist funktsiooni inimese liigutustegevusel ja kehahoiaku säilitamisel.

TÖÖS KASUTATUD LÜHENDID JA SÜMBOLID

- CT - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus puhkeolekus;
- CT_{pot} - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus potenseerunud olekus;
- dF/dt - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradient puhkeolekus;
- dF/dt_{pot} - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni kontraktsiooni-faasi jõugradient potenseerunud olekus;
- dF/dt - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni lõõgastusfaasi jõugradient puhkeolekus;
- dF/dt_{pot} - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni lõõgastusfaasi jõugradient potenseerunud olekus;
- DNA – desoksüribonukleiinhape;
- F_{max} - tahteline isomeetriline maksimaaljõud;
- HRT - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni poole lõõgastuse aeg puhkeolekus;
- HRT_{pot} - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni poole lõõgastuse aeg potenseerunud olekus;
- RNA – ribonukleiinhape;
- PT - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõud puhkeolekus;
- PT_{pot} - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõud potenseerunud olekus;
- PT% - potenseerumisprotsent.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Vananemisprotsessi üldiseloostus

Vanamine on bioloogiline protsess, mis kulgeb alates sünnist pöördumatult. Inimese kasvamist kuni täiseani juhivad geneetilised regulatsioonimehhanismid. Esialgu seostub vanemaks saamine kehalise ja vaimse töövõime tõusuga kuni teatud saavutusvõime maksimumini. Peale seda on uute saavutuste lisandumine võimalik ainult teistest loobumise arvelt. Lõpuks muutub täheldatavaks üldine töövõime langus, mis progresseerub kuni elu lõpuni (Heikkinen 1995; Zahn 1997). Paljud teadlased on täheldanud lineaarset seost kehalise töövõime languse ja vanuse suurenemise vahel peale kolmekümnendat eluaastat (Strauss 1984; Siegel 1986). Kehalise töövõime langus vanamisel on individuaalne ja sõltub inimese füsioloogilistest iseärasustest, füüsilise stressi hulgast ning igapäevasest kehalisest aktiivsusest. Vanus, millest alates individuaalne kehaline töövõime hakkab langema, sõltub sellest, kui aktiivne oli inimene noores eas (Menrad 1996).

Algselt vaadeldi vanamist protsessina, mille puhul füsioloogilised funktsioonid järjest rohkem asenduvad patoloogiliste protsessidega. Kaasajal käsitletakse vanamist multifaktoriaalsete nähtuste kogumina, mida patoloogilised faktorid ainult modifitseerivad (Zahn 1997; Vandervoort 2002). Vanamine ja sellega kaasnevad muutused on seotud organismi homöostaasi nihetega. Seda mõjutavad mitmed tegurid, nagu näiteks metaboolsed, haiguslikud ja geneetilised protsessid ning nende koosmõju. Vanamise põhjusi on otsinud nii geneetikud, rakubioloogid, molekulaarbioloogid, biokeemikud kui ka meditsiiniteadlased, kuid ühtset põhjendatud seisukohta ei ole veel leitud (Menrad 1996). Siinjuures võib ära märkida, et Leonardo da Vinci oli üks esimesi, kes uuris vanamisega seotud muutusi ja otsis selle põhjusi. Rohkearvuliste lahanguite tagajärjel leidis ta, et vanamine on tingitud veresoonte paksenemisest (Belt 1952). Tänapäevased teadmised vanamisest põhinevad eri vanuses isikute suurte gruppide võrdleval uurimisel. Vanamismuutusteks loetakse neid nihkeid, mis on registreeritavad üldiselt heas seisundis olevatel vanuritel. Arvatakse, et vanamine on ekstreemsete protsesside

kompleks, mis sisaldab muutusi molekulaar- ja rakutasandil (Menrad 1996). Vananemine on raku- ja koetasandil kuivamine, rasvumine, hüübumine ja jäigastumine (Tilvis 1996). Vananemisega kaasnevatel muutustel on rida ühiseid jooni: universaalsus, endogeensed põhjused, kroonilisus ja pöördumatus, samuti maksimaalse teovõime nõrgenemine. Vananemisega kaasnevad füsioloogilised muutused ilmnevad kõigil varem või hiljem, nad ei ole primaarselt väliste tegurite poolt põhjustatud ning süvenevad aeglaselt ja vähendavad organismi funktsionaalset võimekust (Tilvis 1996).

Mis võiks olla vananemist käivitavaks teguriks või põhjuseks? Seoses vananemisega on välja pakutud palju erinevaid teooriaid. Järgnevalt on esitatud mõned nendest:

- *Vabade radikaalide teooria.* Arvatakse, et vabad radikaalid, mis on paaritud elektrone sisaldavad ülireaktiivsed aatomid või molekulid, reageerivad rakkudes erinevate struktuurielementidega neid vigastades. Näiteks kollageeni makromolekulides põhjustavad nad ahelate ristühenduste kahjustusi, mille tagajärjel need koed purunevad kergesti. Vabad radikaalid võivad alandada ka ensüümide aktiivsust, lõhkudada DNA struktuuri, vigastada rakumembraane, jmt. Vabade radikaalidega võitlemiseks on rakkudes küll mitu kaitsemehhanismi, nagu antioksidantide olemasolu ja DNA-d korrastavad ensüümid, aga selleks kulub ka materjali ja energiat. Rakukahjustuste tagajärjel väheneb rakkude funktsioneerimise tõhusus ja organismi üldine võimekus tulla toime füüsilise stressiga. See kõik kutsub esile vananemisega kaasnevad nähtused. Need kahjustused on iga inimese puhul individuaalsed ja kulgevad erineva kiirusega (Menrad 1996).
- *Vananemise programmi teooria* kohaselt on vananemine iga organismi geneetilisse koodi sisse programmeeritud. Inimese kromosoomid sisaldavad nn. "vananemise" geene, mis töötavad kui bioloogilised kronomeetrid ja määravad ära igaühe individuaalse ja unikaalse vananemise kiiruse (Menrad 1996).
- *Neuroendokriinse teooria* järgi mõjutab peaaegu kõiki organismi funktsioone ja kontrollib toimuvaid muutusi neuroendokriinne süsteem, mis on kaugeleulatuva efektiga nii molekulaar- ja raku- kui ka organi tasandil. Selle süsteemi

funktsioneerimine halveneb vanuse kasvuga ning sellega on seletatav ka vananemisega kaasnev füsioloogilise efektiivsuse halvenemine (Makinodan 1988).

- *Muundunud valkude teooria* järgi käivitub vananemisel protsess, kus mitmesugused kahjustavad mõjutused kutsuvad esile RNA molekulide muutuse ja transkriptsiooni järgselt vallandub nn. "*valede valkude*" *süntees* (Orgel 1970). Valkusid peetakse vastutavaks kogu organismi funktsioneerimise eest, mis ühtlasi on ka struktuurilelemendid. Samuti on nad paljude ensüümide koostises, ning vastutavad rohkearvuliste reaktsioonide eest. Seega vananemisega kaasnev valkude muundumine mõjutab kogu organismi ja selle eksisteerimist (Menrad 1996).

Arvatakse ka, et jääkproduktide kuhjumine rakkudes (Makinodan 1988) ja inimese immuunsüsteemi nõrgenemine (Walford 1969) võivad põhjustada vananemisega kaasnevaid nähtusi.

1.2. Vananemisega kaasnevad muutused inimese närvi-lihassüsteemis

Esmane muutus, mida vananemise puhul märgatakse, on lihasjõu vähenemine ja igapäevase kehalise aktiivsuse langus. Mõned autorid arvavad, et kehalise aktiivsuse langus kutsub esile vananemisega kaasnevad muutused (Rode, Shephard 1971; Kasch et al. 1990; Mälkiä et al. 1994). Teisalt võivad põhjused olla endogeensed, nagu näiteks denervatsioonile sarnanevad neurotroofilised häired (Grimby, Saltin 1983; Essen-Gustavsson, Borges 1986; Lexell et al. 1988). Samas ollakse peaaegu ühel meelel selles, et lihasjõu langus on põhjustatud lihaskiudude (eriti kiirete e. II-tüüpi lihaskiudude) arvu selektiivsest vähenemisest ja atroofiast ning mõned autorid arvavadki, et vananemine juhib seda protsessi (Larsson 1978; Davies, White 1983; Froese, Houston 1985).

Lihaskiudude arvust seoses vananemisega on palju uuritud. Üldiselt täheldatakse järkjärgulist lihasjõu langust vanuse suurenedes. Seejuures kuni umbes 45. eluaastani on lihasjõu langus väike (Asmussen 1980; Grimby, Saltin 1983; Shephard 1987; Vandervoort 2002). Mõned autorid on täheldanud isegi lihasjõu säilimisel platood kuni 40. eluaastateni (Larsson 1978; Aniansson et al. 1981; Borges 1989; Stalberg et

al. 1989; Cavanagh, Shephard 1990; La-Forest et al. 1990) ning peale seda kiirenevat taandarengut. Eriti kiireneb lihasjõu langus 60. eluaastate algul (Aniansson et al. 1981; Viitasalo et al. 1985; Rice et al. 1989; Frontera et al. 1991; Häkkinen, Häkkinen 1991; Vandervoort 2002). Kui palju lihasjõud aastatega langeb, on veel täpselt selgusetu ja arvatavasti väga individuaalne. Ühtede autorite andmetel võib lihasjõu langus kogu täiskasvanu ea jooksul olla 30-40% (Asmussen 1980; Grimby, Saltin 1983; Shephard 1987). Teiste autorite järgi aga võib üle 70-aastastel inimestel maksimaalne staatiline ja dünaamiline jõud olla vähenenud 35-59% noortega võrreldes (Davies, White 1983, Borges 1989).

Koos staatilise ja dünaamilise lihasjõu langusega väheneb umbes sama kiirusega ka lihaskoe mass (Aniansson et al. 1981; Borkan et al. 1983; Fleg, Lakatta 1988; Vandervoort 2002). Skeletilihaste mass hakkab Lexell et al. (1988) andmetel vähenema 20. ja 30. eluaasta vahel. Skeletilihaste mass on seotud lihase ristlõikepindalaga, millel Young'i (1986) andmetel on konstantne seos lihase staatilise ja dünaamilise jõuga sõltumata elueast. Lexell et al. (1988) uuringud näitavad, et lihaste ristlõikepindala on vähenenud 24.-50. eluaasta vahel ca 10% võrra ning viiekümnenenda ja kaheksakümnenenda eluaasta vahel ligikaudu 30%.

Lihasmassi ja lihasjõu vähenemine vananemisel võib olla tingitud lihaskiudude arvu ja mõõtmete vähenemisest (MacLennan et al. 1980). Vanuse suurenedes väheneb nii aeglaste kui ka kiirete lihaskiudude arv (Grimby et al. 1982; Lexell et al. 1983, 1988; Vandervoort 2002). Sealjuures täheldasid Lexell et al. (1986), et kiirete lihaskiudude arvu vähenemine on aeglaste lihaskiududega võrreldes suurem. On leitud, et 24. ja 52. eluaasta vahel ei ole lihaskiudude arvu langus eriti märkimisväärne (kuni 5%), kuid 52. ja 77. eluaasta vahel kaotab inimene aga 35% lihaskiududest. Kuna lihasjõud sõltub aktiivsete lihaskiudude hulgast, samuti ka lihaskiudude tüübist, kusjuures kiired (II tüüpi) lihaskiud arendavad suuremat pinget kui aeglased (I tüüpi) lihaskiud (Larsson 1978; Young et al. 1982, 1984), on mõistetav, miks vanematel inimestel esineb suur lihasjõu langus.

Lihaskiudude arvu vähenemisega kaasneb ka motoorsete ühikute ja seljaaju motoneuronite arvu vähenemine (Doherty et al. 1993; Lexell 1995), kusjuures see degeneratsioon algab keskmiselt 50. ja 60. eluaasta vahel (Lexell 1993; Rodgers,

Evans 1993). Tomlinson ja Irving (1977) väidavad, et olulist seljaaju motoneuronite arvu langust ei esine enne 60. eluaastat. Vananemisega kaasneb ka mootorsete ühikute talitlusliku aktiivsuse alanemine, eriti peale 60. eluaastat (Campbell et al. 1973; Sica et al. 1974) ja nende rekruteerumise häired, mis väljenduvad selgemini tahtelisel maksimaalsel pingutusel. Arvatakse, et viimati mainitu põhjustajaks on kehalise aktiivsuse vähenemine (Secher 1978). Harris et al. (1994) on leidnud, et inimese vananedes kiireneb degeneratiivne denervatsioon ja nõrgeneb neuraalne koordinatsioon, vähendades lihaste töövoimet. Erinevate uuringute tulemusena on selgitatud, et muutused lihaste neuraaletes juhtimises on vanuse suurenemisega vähem väljendunud kui perifeersed muutused, mis varieeruvad erinevate lihasgruppide vahel (Enoka 1988; Häkkinen 1994). Üle 60-aastastel inimestel on võrreldes 30-aastastega toimunud selgelt väljendunud muutused kesknärvisüsteemis, samuti on neil aeglustunud erutuse juhtimise kiirus perifeerses närvisüsteemis ja erutuse ülekande neuromuskulaarsetes sünapsides (Sabbahi, Sedgwick 1982; Vandervoort, Hayes 1989).

Hervoneni (1996) järgi on peamised nähtused, mis esinevad neuronite vananemisel järgmised: 1) dendriitide hävimine; 2) aksonite müeliinikihi hävimine; 3) vähenenud erutusjuhtivus aksonites; 4) mediaatorite sünteesi häired.

Üks selgitus vananemisega kaasnevale lihaste atroofiale ja sellega kaasneva eritüüpi lihaskiudude proportsionaalsele vähenemisele on degeneratiivsed muutused nii aksonaalse ühenduse kui ka lõpp-plaadi struktuuris ja funktsioneerimises, mille tulemusena häirub erutuse ülekande neuromuskulaarsetes sünapsites (Pestronk et al. 1980; Cardasis 1983). Närvi-lihasülekande degeneratiivsete muutuste suurusjärg sõltub lihasaktiivsuse tasemest vananemisel (Appell 1984, Rosenheimer 1985; Stebbins et al. 1985). Stebbins et al. (1985) märgivad, et glükolüütilistel (II-tüüpi) lihaskiududel häirub erutuse ülekande neuromuskulaarsetes sünapsites vananemisel suuremal määral kui oksüdatiivsetel (I-tüüpi) lihaskiududel.

Lisaks staatilise ja dünaamilise lihasjõu langusele seoses vanuse suurenemisega ilmneb peale 40. eluaastat ka liigutuste kiiruse vähenemine (Larsson 1978; Aniansson et al. 1981; Borges 1989; Stalberg et al. 1989; Cavanagh, Shephard 1990; La-Forest et al. 1990; Kent-Braun, Ng 1999).

Vananedes muutuvad ka lihaste kontraktiilsed omadused. On leitud, et vanemaealistel on lihaste elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõud väiksem võrreldes noortega (Vandervoort, Hayes 1989; Pääsuke 1999a, 2000, 2002a). Seoses vananemisega pikeneb nii lihaste üksikkontraktsiooni kontraktsiooni- kui ka lõõgastusfaasi kestus (McDonagh et al. 1984; Vandervoort, McComas 1986; Klein et al. 1988; Vandervoort, Hayes 1989; Pääsuke 1999a). Lihaste kontraktsiooni aeglustumise vanematel inimestel võivad põhjustada lihaskiudude membraani depolarisatsiooni ja erutuse ning kontraktsiooni sidestusmehhanismi häired (Payton, Poland 1983). Vananemisega kaasneb ka lihaskiu sarkoplasmaatilise retiikulumi töövõime langus, s.h. võime vabastada Ca^{2+} -ioone lihaskiu erutumisel ja reakumuleerida neid lõõgastumisel (Klitgaard et al. 1989; Petrella et al. 1989). Nõrgeneb ka Ca^{2+} -ioonide sidumine troponiiniga kontraktsiooniprotsessis (Carlsen, Walsh 1987), mis aeglustab lihaskontraktsiooni kulgu. Lõõgastusfaasi kestuse muutuste osas seoses vananemisega on saadud vastukäivaid andmeid. Osa autoreid on täheldanud lõõgastusfaasi kestuse pikenemist vananemisel (Davies, White 1983; Hicks, McCartney 1996; Vandervoort, McComas 1986). Teised autorid aga ei ole leidnud noortel ja vanemaealistel olulisi erinevusi näiteks poole lõõgastuse ajas (Klein et al. 1988; Pääsuke et al. 1999a, 2000).

Lisaks üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja kontraktsioonifaasi kestuse muutustele ilmneb seoses vananemisega ka kontraktsioonifaasi jõugradiendi (jõugenereerimise kiiruse) vähenemine, samuti lõõgastusfaasi jõugradiendi (lõõgastumiskiiruse) vähenemine (McDonagh et al. 1984; Vandervoort, McComas 1986). Uuringud on näidanud, et lihase kontraktsioonikiiruse langus ei seostu lihaskiudude arvu vähenemisega (Brooks, Faulkner 1988; Pääsuke et al. 1999a, 2000). Küll aga sõltub jõugenereerimise kiirus nii nagu kontraktsioonifaasi kestuski erutuse ja kontraktsiooni sidestusmehhanismi efektiivsusest ning aktiini ja müosiini vaheliste ristsillakeste moodustumise kiirusest (Klug et al. 1982; Kugelberg, Thornell 1983; Lewis et al. 1986).

On teada, et lihaste elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni jõud ja kiirus on vahetult peale lühiajalist maksimaalset tahtelist isomeetrilist pingutust suurenenud. Seda nähtust nimetatakse aktiivsusejärgseks potenseerumiseks

(Vandervoort et al. 1983; Petrella et al. 1989; Hamada et al. 2000; Pääsuke et al. 2002a,b). Vananemisega seoses on täheldatud lihaste aktiivsusjärgse potenseerumise vähenemist (Vandervoort et al. 1983; Petrella et al. 1989; Pääsuke et al. 2002b). Lihaste aktiivsusjärgse potenseerumise puhul etendavad olulist osa ainult lihasesisesed faktorid, kuna kesknärvisüsteemi mõjud on elektrostimulatsiooniga esile kutsutud kontraktisooni korral praktiliselt välja lülitatud. On leitud, et kiiretes lihaskiududes on potenseerumine suurem kui aeglastes lihaskiududes (Heylers 1994). Seega lihaste aktiivsusjärgse potenseerumise langus vanemaealistel võib olla tingitud sellest, et vananedes kiirete lihaskiudude arv lihases väheneb (Lexell et al. 1986).

Seoses vananemisega on erinevat tüüpi lihaskiudude puhul leitud ka ensüümide aktiivsuse muutusi, seda küll vähesel määral ja peamiselt vanuses 65-75 eluaastat. Kuid märkimist väärib tendents, et vananemisel suureneb oksüdatiivsete ja väheneb glükolüütiliste ensüümide aktiivsus (Larsson 1978). Seetõttu on leitud, et vanematel inimestel on skeetilihastes ülekaalus aeglased (I-tüüpi) lihaskiud (Jennekens et al. 1971; Tomonaga 1977; Grimbi, Saltin 1983; Larsson 1983).

Vananedes väheneb ka lihaskiude toitvate kapillaaride hulk, kuid kapillaaride suhe olemasolevatesse lihaskiududesse jääb peaaegu samaks. Plyley (1990) on küll täheldanud väga väikest kapillaaride-lihaskiudude suhte vähenemist vanematel istuva eluviisiga meestel võrreldes nooremate istuva eluviisiga meestega. Mida suurem on see suhe, seda rohkem hapnikku ja toitaineid transporditakse ajaühikus töötavasse lihasesse. Seoses vananemisega lihaskiudude hapnikuga varustamine ilmselt siiski ei halvene, sest ka lihaskiu keskmine pindala väheneb (Harris et al. 1994). Knortz (1987) on näidanud, et mitokondrite tihedus vananevas lihases ei muutu.

Vananevas lihases suureneb kollageenikiudude sisaldus. On teada, et kollageen on suhteliselt suure jäikusega, s.o. väikese venitatavusega kude ja vanemate inimeste, eriti sportlaste lihaskond muutub progressiivselt jäigemaks. See hakkab hiljem takistama liigutustegevust ja teeb vastuvõtlikumaks vigastustele (Alnaqeeb et al. 1984).

Järgnevalt on antud kokkuvõtlik ülevaade närvisüsteemi ja tugi-liikumisaparaadi muutustest vananedes (Tilvis 1996; Vandervoort 2002):

1. Muutused närvisüsteemis:

- ajukoe massi vähenemine,
- regulatsioonisüsteemide nõrgenemine,
- psühhomotoorsed muutused,
- mäluhäirete sagenemine,
- müeliniseeritud närvikiudude hulga vähenemine,
- närvikiudude diameetri vähenemine,
- motoneuronite arvu vähenemine,
- aksonite ühenduse katkemine sünapsites,
- atsetüülkoliini sünteesimise häirumine.

2. Muutused lihaskoes:

- lihaskiudude hulga vähenemine,
- lihaskiudude atrofeerumine,
- kiirete lihaskiudude arvu vähenemine võrreldes aeglase lihaskiududega,
- lihaste kontraktsioonijõu ja -kiiruse vähenemine,
- kreatiinfosfaadi hulga vähenemine lihaskiududes,
- müosiinATPaasi vähenemine lihaskiududes,
- lihaste kontraktsiooniaja pikenemine.

3. Muutused luustikus ja sidekoes:

- luumassi vähenemine,
- luude hapramaks muutumine,
- Ca-soolade väljumine luudest ja ümberpaiknemine ning akumulatsioon sidekoes,
- liigeste jäigastumine,
- artroosi levimine,
- sidekoe jäigastumine,
- kollageen- ja elastiinkiudude elastsuse ja venitatavuse vähenemine.

1.3. Vananemise iseärasused naistel

Naistel kujutab umbes 50. eluaastatel algav klimakteerium endast pöördelist protsessi, mida iseloomustab sugunäärmete funktsiooni lakkamine. Esmaseks tunnuseks on menstruaaltsükli ärajäämine (munasarjade poolt viljastusvõimeliste munarakkude vabastamise lakkamine) ehk menopaus. See on normaalne vananemisega kaasnev protsess. Östrogeeni ja progesterooni kontsentratsiooni languse tõttu veres tõuseb mõneks aastaks tugevasti folliikuleid stimuleeriva hormooni ja luteiniseeriva hormooni produktsioon (Zahn 1997). Menopausi ajal tekkiv östogeenide taseme langus põhjustab peamiselt järgmisi sümptomeid: mälu halvenemist ja kontsentratsioonivõime langust; unetust; paanikahoogusid; ärevust ja depressiooni; unustamist; libiido langust; osteoporoosi, eriti puusaluudes, selja alaosas ja kodarluudes (Appleby 2000); samuti lihaste atroofiat (Tilvis 1996). Väheneb lihasmass ja liigeste elastsus ning see omakorda põhjustab lihasjõu langust ning raskendab liigutuste sooritamist (Zahn 1997).

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida vanusega kaasnevaid muutusi skeletilihaste kontraktilsetes omadustes naistel.

Töös püstitati järgmised ülesanded:

1. Määrata sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud 20-70-aastastel naistel.
2. Määrata sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni parameetrid puhke- ja potenseerunud seisundis 20-70-aastastel naistel.
3. Võrrelda sääre kolmpealihase kontraktilseid omadusi 20-, 30-, 40-, 50- ja 60-70-aastastel naistel.

3. TÖÖ METOODIKA

3.1. Vaatlusalused

Käesolevas uurimistöös osales vabatahtlikult 72 naist, kes jaotati vanuse järgi viide gruppi: 1) 20-aastased (vanuses 20-29 aastat); 2) 30-aastased (vanuses 32-39 aastat); 3) 40-aastased (vanuses 40-49 aastat); 4) 50-aastased (vanuses 50-59 aastat) ja 5) 60-70-aastased (vanuses 60-77 aastat). Vaatlusalustel ei esinenud akuutseid traumatoloogilisi ega neuroloogilisi haigusi. Vaatlusaluste kontingendi antropoloogilised näitajad on toodud tabelis 1. Kõik uuringus osalenud naised käisid keskmiselt 2 korda nädalas tervisespordi eesmärgil võimlemistreeningutel. Võistlussportlasi vaatlusaluste gruppidesse ei kuulunud, küll aga olid nad järjepidevalt treeninud vähemalt 8 kuud. Vaatlusalused täitsid ankeedi, kus esitati küsimusi kehalise aktiivsuse ja tervisliku seisundi kohta (lisa 1). Kõik vaatlusalused andsid kirjaliku nõusoleku uuringus osalemiseks. Uuring oli kooskõlastatud Tartu Ülikooli inimuuringute eetikakomiteega.

Tabel 1. Vaatlusaluste antropomeetrilised näitajad ($\bar{X} \pm SD$)

Grupid	20-aastased (n=16)	30-aastased (n=15)	40-aastased (n=15)	50-aastased (n=11)	60-70-aastased (n=15)
Vanus (a.)	23,7±3,0	36,0±2,1	43,9±2,8	54,5±3,1	70,1±4,3
Pikkus (cm)	166,2±5,3 *	166,4±5,8 *	163,5±4,2	163,3±6,4	159,7±5,3
Kehamass (kg)	61,0±6,0	64,2±7,5	64,5±10,4	67,7±6,6	66,0±7,2
Kehamassi indeks (kg·m ⁻²)	22,0±1,6 #,***	23,2±2,4 *	24,0±3,2	25,4±3,0	25,0±2,6

*p<0,05; ***p<0,001 võrreldes 60-70-aastastega

#p<0,05 võrreldes 50-aastastega

3.2. Dünamomeetria ja elektrostimulatsioon

Sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise jõu ja kontraktiilsete omaduste määramisel fikseeriti vaatlusalune spetsiaalselt konstrueeritud dünamomeetrilisele pingile, kusjuures nurk uuritava jäsme põlve- ja puusaliigeses oli 90° (Pääsuke et al. 2000) (joon. 1A). Reie põlvpoolsele osale asetati säärt fikseeriv toestaja. Labajalg asetati dünamomeetriga ühendatud pedaalile 85° -se nurga all ning hüppeliiges kinnitati manseti abil vastu kannatuge. Sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste määramiseks kasutati elektrostimulatsiooni meetodit. Ärritust andev elektrood (katood) asetati sääre kolmpealihast innerveeriva sääreluunärvi (*n. tibialis*) projektsioonile põlveõndlas ja maanduselektrood (anood) sääre distaalsele osale. Elektrostimulaatorina kasutati firma MEDICOR (Budapest, Ungari) elektromüograafilises komplektis MG 440 olevat seadet. Ristkülikukujulise ärritusimpulsiga, mille kestus oli 1 ms, kutsuti esile sääre kolmpealihase supramaksimaalne isomeetriline üksikkontraktsioon. Sealjuures kasutati alalisvoolu, mille pinge oli 150 V. Sääre kolmpealihase kontraktsiooniomadusi iseloomustavad parameetrid määrati dünamogrammilt, mis saadi vaatlusaluse labajala mittetahtelise surve muutuse tulemusena vastu seadme pedaali.

Nii puhkeolekus kui ka vahetult peale 5 sekundilist tahtelist maksimaalset pingutust (potenseerunud olekus, lüh. pot) registreeritud isomeetrilise üksikkontraktsiooni dünamogrammidelt määrati järgmised näitajad (joon. 1B):

- maksimaaljõud: PT , PT_{pot} [N];
- kontraktsioonifaasi kestus: CT , CT_{pot} [s] - ajaintervall lihaspinge tekke algusest kuni jõu maksimaalväärtuseni PT ;
- poole lõõgastuse aeg: HRT , HRT_{pot} [s] - ajaintervall maksimaaljõu PT languseni 50% võrra;
- kontraktsioonifaasi jõugradient, s.o. esimene tuletis jõu ja aja suhtest kontraktsioonifaasis: dF/dt , dF/dt_{pot} [N/s], mis ühtlasi iseloomustab maksimaalset kontraktsioonikiirust;
- lõõgastusfaasi jõugradient, s.o. esimene tuletis jõu ja aja suhtest lõõgastusfaasis: $-dF/dt$, $-dF/dt_{pot}$ [N/s], mis väljendab lõõgastuskiirust.

Määrati ka sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud F_{\max} [N]. Antud testi sooritamiseks pidi uuritav suruma labajala vastu pedaali maksimaalse jõuga ja hoidma maksimaalset lihasinget 2-3 s. Kolmest katsest läks arvesse parim.

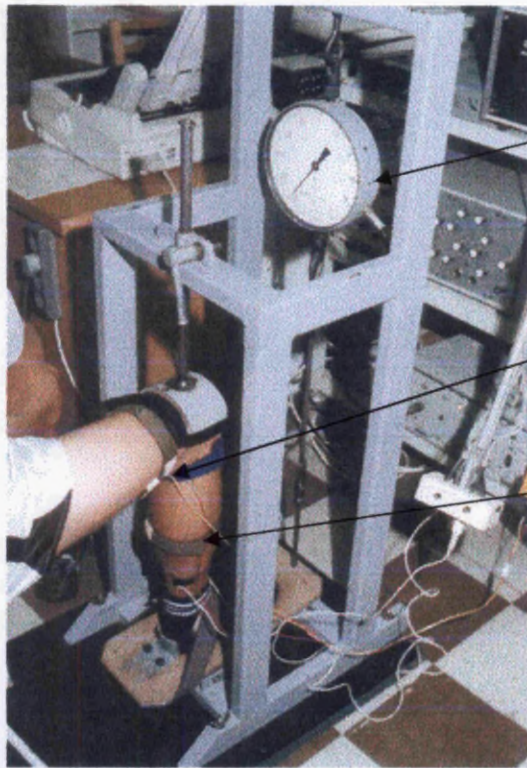
Lisaks arvutati:

- potenseerumisprotsent valemiga: $PT\% = \frac{PT_{pot}}{PT} 100\%$;
- üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhe puhke- ning potenseerunud olekus valemiga: $\frac{PT}{F_{\max}}, \frac{PT_{pot}}{F_{\max}}$.

3.3. Uuringu korraldus

Uuringud viidi läbi Tartu Ülikooli kinesiolooogia ja biomehaanika laboris aastatel 1999 ja 2000. Kõikidel vaatlusalustel mõõdeti uuringu algul Martini metallantropomeetriga keha pikkus (täpsusega 1mm) ja meditsiinilise elektronkaaluga kehamass (täpsusega 0,1 kg). Vaatlusalused täitsid ka ankeedi, mis sisaldas küsimusi nende tervisliku seisundi ja kehalise aktiivsuse kohta (lisa 1). Vaatlusalustel määrati ainult ühe (domineeriva) jala lihaste funktsionaalsed parameetrid. Testitavaks jalaks valiti vaatlusaluse tugevam jalg tema enda subjektiivse hinnangu alusel, kusjuures vajadusel määrati see selle järgi, millega vaatlusalune eelistas palli lüüa. Enne lihaste kontraktiilsete omaduste määramist vaatlusalune istus rahulikult 5 min. toolil. Algul registreeriti elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni näitajad puhkeolekus ning seejärel peale 5s. maksimaalset tahtelist pingutust (potenseerunud olekus). Edasi määrati sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud.

A

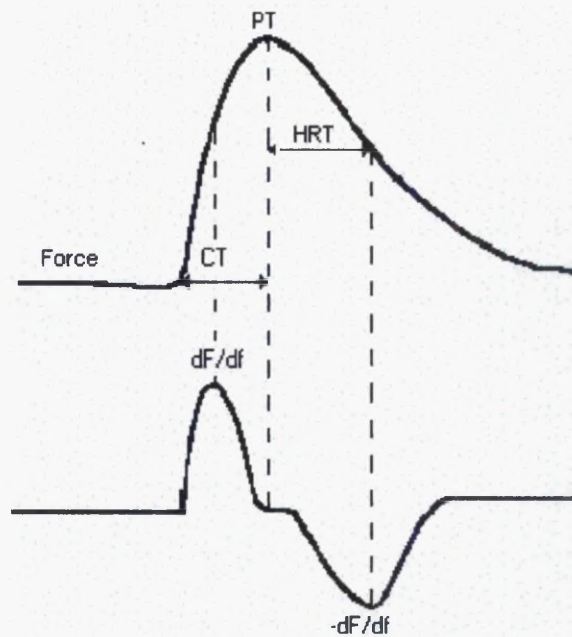


Dünamomeeter

Katood

Anood

B



Joonis 1. Dünamomeetiline seade **A** ning isomeetrilise üksikkontraktsiooni dünamogramm (Force) **B**. PT maksimaaljõud; CT – kontraktsioonifaasi kestus; HRT – poole lõõgastuse aeg; dF/dt – kontraktsioonifaasi jõugradient; $-dF/dt$ – lõõgastusfaasi jõugradient.

3.4. Andmete statistiline töötlus

Saadud andmete analüüsimisel kasutati ühemõõtmelist andmetöötlusprogrammi STATISTICA 4.5. Kõigi tunnuste osas määrati aritmeetiline keskmine (\bar{X}) ja standardhälve ($\pm SD$). Keskmiste võrdlus toimus ühefaktorilise ANOVA (koos Tukey post hoc testiga) järgi, samuti Student'i t - kriteeriumi järgi. Seoste leidmiseks vaatlusaluste vanuse, antropomeetriliste näitajate ja sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste näitajate vahel kasutati korrelatsioonanalüüsi. Statistilise olulisuse nivooks võeti $p < 0,05$.

4. TÖÖ TULEMUSED

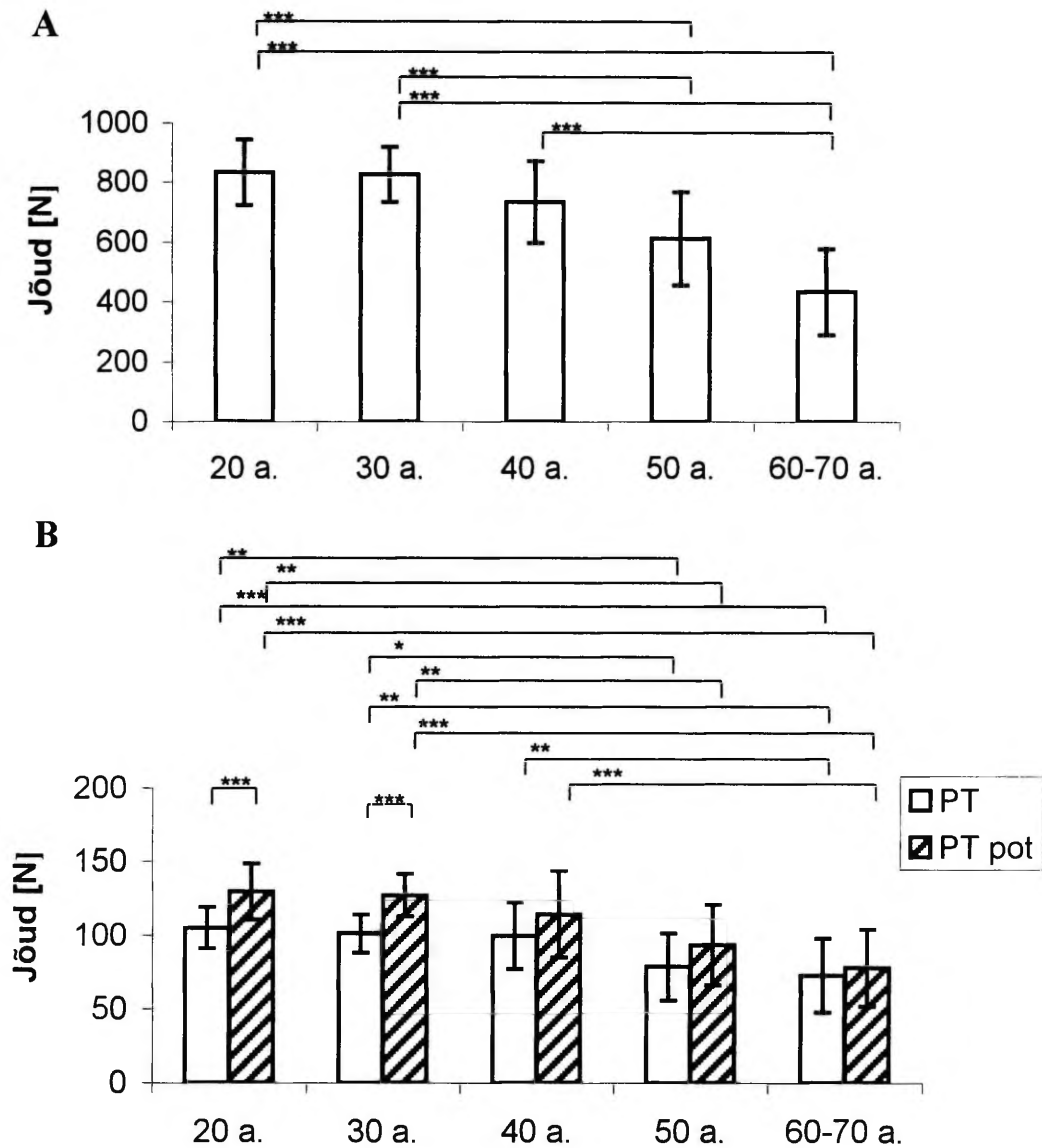
4.1. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud

Sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud (F_{\max}) oli 20-aastastel naistel oluliselt suurem ($p<0,001$) kui 50- ja 60-70-aastastel, kusjuures 30- ja 40-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei täheldatud (joon. 2A). Kolmekümneaastastel naistel oli F_{\max} oluliselt suurem ($p<0,001$) kui 50- ja 60-70-aastastel, kusjuures 40- aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Neljakümneaastastel naistel oli F_{\max} oluliselt suurem ($p<0,001$) kui 60-70-aastastel, 50-aastaste naistega võrreldes neil aga olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Viiekümneaastastel naistel antud näitaja võrreldes 60-70-aastastega oluliselt ($p>0,05$) ei erinenud.

4.2. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni näitajad

Elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõud puhkeolekus (PT) oli 20-aastastel naistel oluliselt suurem ($p<0,01-0,001$) kui 50- ja 60-70-aastastel, 30- ja 40-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud (joon. 2B). Kolmekümneaastastel naistel oli PT oluliselt suurem ($p<0,05-0,01$) kui 50- ja 60-70-aastastel, 40-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Neljakümneaastastel naistel oli PT oluliselt suurem ($p<0,01$) kui 60-70-aastastel, 50-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Viiekümneaastastel naistel PT võrreldes 60-70-aastastega oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

Üksikkontraktsiooni maksimaaljõud potenseerunud olekus (PT_{pot}) oli 20-aastastel naistel oluliselt suurem ($p<0,01-0,001$) kui 50- ja 60-70-aastastel, 30- ja 40-aastaste naistega võrreldes neil aga olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud (joon. 2B).



Joonis 2. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud **A** ja elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõud **B** eri vanuses naistel ($\bar{X} \pm SD$). PT - üksikkontraktsiooni maksimaaljõud puhke olekus; PT pot - üksikkontraktsiooni maksimaaljõud potenseerunud olekus.
 * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Kolmekümneaastastel naistel oli PT_{pot} oluliselt suurem ($p<0,01-0,001$) kui 50- ja 60-70-aastastel, kuid 40-aastaste naistega võrreldes olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Neljakümneaastastel naistel oli PT_{pot} oluliselt suurem ($p<0,001$) kui 60-70-aastastel, 50-aastaste naistega võrreldes neil aga olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Viiekümneaastastel naistel PT_{pot} võrreldes 60-70-aastastega oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

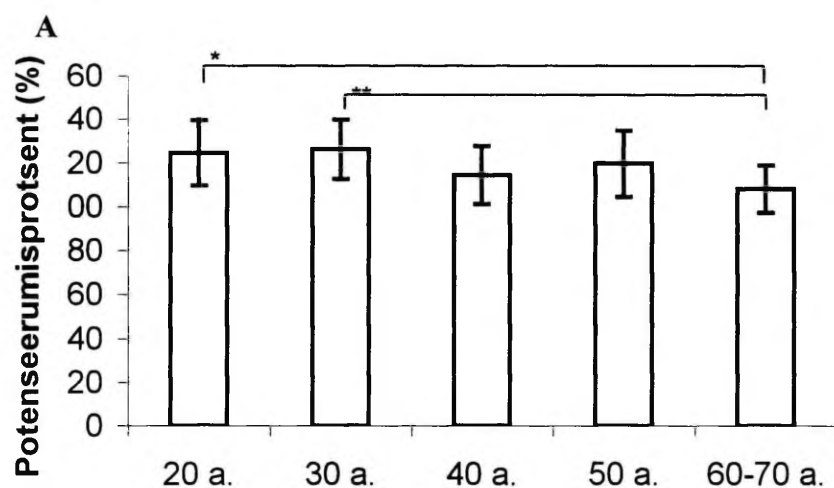
Potenseerunud olekus võrreldes puhkeolekuga oli üksikkontraktsiooni maksimaaljõud oluliselt suurem ($p<0,001$) 20- ja 30-aastastel naistel (joon. 2B). Neljakümneaastastel, 50- ja 60-70-aastastel naistel antud parameeter potenseerunud ja puhkeolekus oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

Potenseerumisprotsent ($PT\%$) oli 20- ja 30- aastastel naistel oluliselt suurem ($p<0,05-0,01$) kui 60-70-aastastel naistel, 40- ja 50- aastaste naistega võrreldes neil aga olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud (joon. 3A). Samuti ei esinenud olulist erinevust ($p>0,05$) selles näitajas 20- ja 30-aastaste vahel ning 40-, 50- ja 60-70-aastaste naiste vahel.

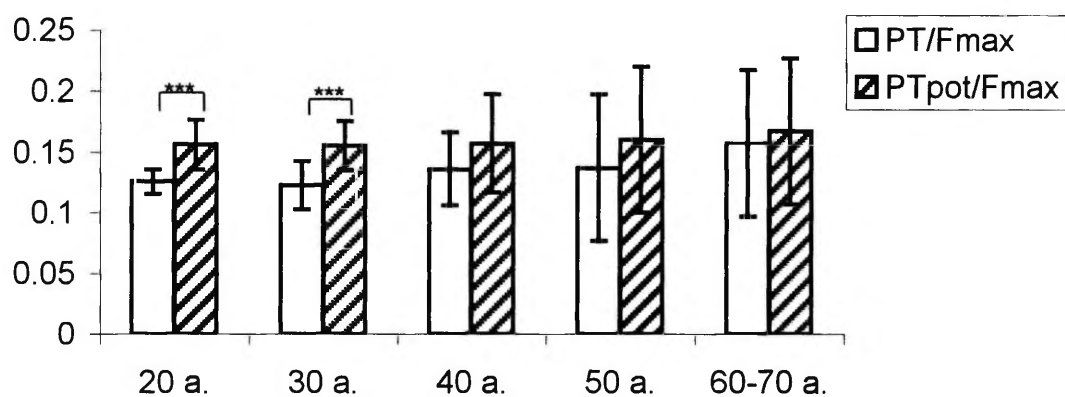
Üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhte (PT/F_{max} ; PT_{pot}/F_{max}) osas ei esinenud olulist ($p>0,05$) gruppidevahelist erinevust ei puhke- ega potenseerunud olekus (joon. 3B). Oluline erinevus ($p<0,001$) esines 20- ja 30-aastastel naistel puhkeolekus ja potenseerunud olekus registreeritud üksikkontraktsiooni ja tahtelise maksimaaljõu suhte vahel. Neljakümneaastastel, 50- ja 60-70-aastastel naistel puhke- ja potenseerunud olekus registreeritud üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhe oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

Kontraktsioonifaasi kestus puhkeolekus (CT) oli 20-aastastel naistel oluliselt ($p<0,001$) lühem kui 40-, 50- ja 60-70-aastastel naistel, kuid 30-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei täheldatud (joon. 4A). Kolmekümneaastastel naistel oli CT oluliselt ($p<0,01$) lühem kui 40-aastastel, 50- ja 60-70-aastastega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei täheldatud. Neljakümneaastastel, 50- ja 60-70-aastastel naistel kontraktsioonifaasi kestus oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

Kontraktsioonifaasi kestus potenseerunud olekus (CT_{pot}) oli 20-aastastel naistel oluliselt ($p<0,001$) lühem kui 40-, 50- ja 60-70-aastastel naistel, kuid 30-aastaste



B



Joonis 3. Sääre kolmpealihase potenseerumisprotsent **A** ja elektostimulatsiooniga esilekutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ning tahtelise maksimaaljõu suhe **B** eri vanuses naistel ($\bar{X} \pm SD$). PT/Fmax - puhkeolekus registreeritud üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ning tahtelise maksimaaljõu suhe; PTpot/Fmax - potenseerunud olekus registreeritud üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ning tahtelise maksimaaljõu suhe.
 * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud (joon. 4A). Kolmekümneaastaste, 40-, 50- ja 60-70-aastaste naiste CT_{pot} oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

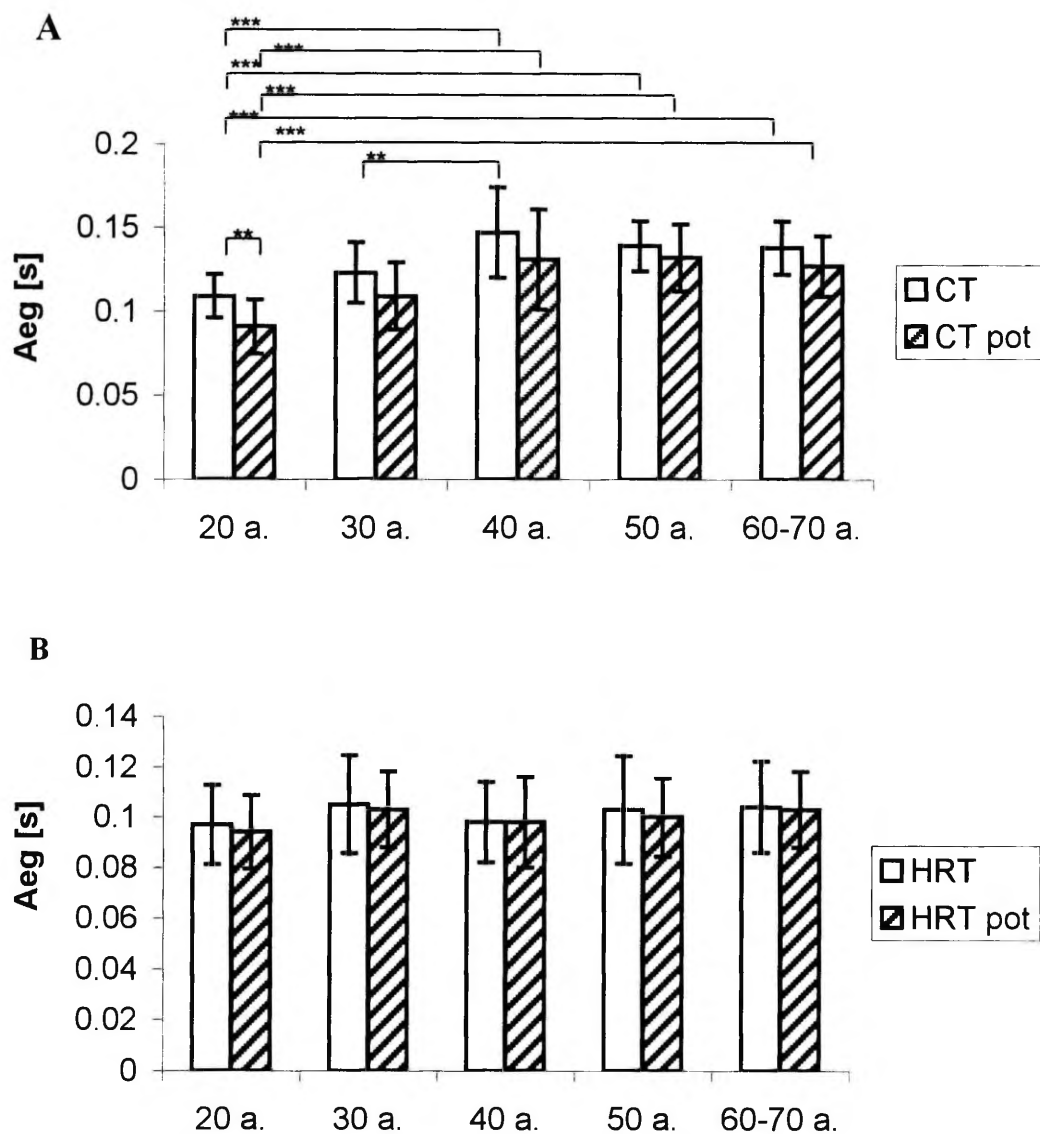
Kahekümneaastastel naistel oli kontraktsioonifaasi kestus potenseerunud olekus oluliselt ($p<0,01$) lühem kui puhkeolekus (joon. 4A). Kolmekümneaastastel, 40-, 50- ja 60-70-aastastel naistel CT ja CT_{pot} oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

Poole lõõgastuse aeg puhkeolekus (HRT) ja potenseerunud olekus (HRT_{pot}) ühelgi uuritud grupil oluliselt ei erinenud ($p>0,05$) (joon. 4B). Samuti ei olnud gruppide vahel olulisi erinevusi ($p>0,05$) antud näitajas puhke- ega potenseerunud olekus.

Kontraktsioonifaasi jõugradient puhkeolekus (dF/dt) oli 20-aastastel naistel oluliselt ($p<0,001$) suurem kui 50- ja 60-70-aastastel, kuid 30- ja 40-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud (joon. 5A). Kolmekümneaastastel naistel oli dF/dt oluliselt ($p<0,05-0,001$) suurem kui 50- ja 60-70-aastastel, kuid 40-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Neljakümneaastastel naistel oli dF/dt oluliselt ($p<0,05$) suurem kui 60-70-aastastel, 50-aastastega võrreldes neil aga olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Viiekümneaastastel ja 60-70-aastastel naistel dF/dt oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

Kontraktsioonifaasi jõugradient potenseerunud olekus (dF/dt_{pot}) oli 20-aastastel naistel oluliselt ($p<0,05-0,001$) suurem kui 40-, 50- ja 60-70-aastastel, kuid 30-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud (joon. 5A). Kolmekümneaastastel naistel oli dF/dt_{pot} oluliselt ($p<0,01-0,001$) suurem kui 50- ja 60-70-aastastel, 40-aastaste naistega võrreldes neil aga olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Neljakümneaastastel naistel oli dF/dt_{pot} oluliselt ($p<0,001$) suurem kui 60-70-aastastel, 50-aastastega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Viiekümneaastastel ja 60-70-aastastel naistel dF/dt_{pot} oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

Kahekümne-, 30- ja 40-aastastel naistel oli kontraktsioonifaasi jõugradient potenseerunud olekus oluliselt ($p<0,05-0,001$) suurem kui puhkeolekus (joon. 5A). Viiekümneaastastel ja 60-70-aastastel naistel dF/dt_{pot} ja dF/dt oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).



Joonis 4. Sääre kolmpealihase üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus **A** ja poole lõõgastuse aeg **B** eri vanuses naistel ($\bar{X} \pm SD$). CT - kontraktsioonifaasi kestus puhkeolekus; CT pot - kontraktsioonifaasi kestus potenseerunud olekus; HRT - poole lõõgastuse aeg puhkeolekus; HRT pot - poole lõõgastuse aeg potenseerunud olekus.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Lõõgastusfaasi jõugradient puhkeolekus ($-dF/dt$) oli 20-aastastel naistel oluliselt ($p<0,05-0,001$) suurem kui 50- ja 60-70-aastastel, kuid 30- ja 40-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud (joon. 5B). Kolmekümneaastastel naistel oli $-dF/dt$ oluliselt ($p<0,05$) suurem kui 60-70-aastastel, 40- ja 50-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Neljakümneaastastel naistel oli $-dF/dt$ oluliselt ($p<0,01$) suurem kui 60-70-aastastel, 50-aastaste naistega võrreldes neil aga olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Viiekümneaastastel ja 60-70-aastastel naistel $-dF/dt$ oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

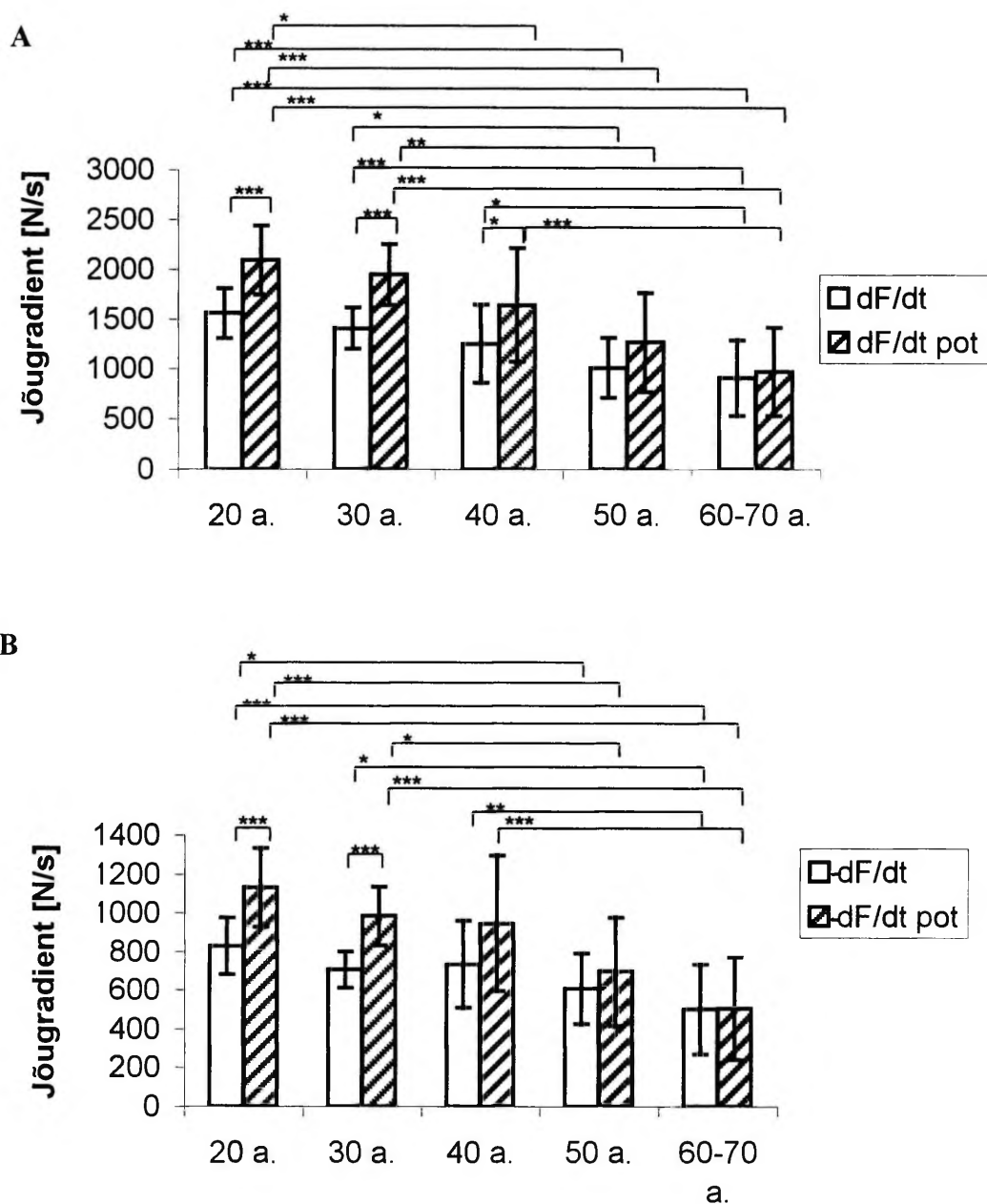
Lõõgastusfaasi jõugradient potenseerunud olekus ($-dF/dt_{pot}$) oli 20-aastastel naistel oluliselt ($p<0,001$) suurem kui 50- ja 60-70-aastastel, 30- ja 40-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud (joon. 5B). Kolmekümneaastastel naistel oli $-dF/dt_{pot}$ oluliselt ($p<0,05-0,001$) suurem kui 50- ja 60-70-aastastel, 40-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Neljakümneaastastel naistel oli $-dF/dt_{pot}$ oluliselt ($p<0,001$) suurem kui 60-70-aastastel, 50-aastaste naistega võrreldes neil olulist erinevust ($p>0,05$) ei esinenud. Viiekümneaastastel ja 60-70-aastastel naistel $-dF/dt_{pot}$ oluliselt ei erinenud ($p>0,05$).

Kahetekümne- ja 30-aastastel naistel oli lõõgastusfaasi jõugradient potenseerunud olekus oluliselt ($p<0,001$) suurem kui puhkeolekus, kuid 40-, 50- ja 60-70-aastastel naistel $-dF/dt_{pot}$ ja $-dF/dt$ oluliselt ($p>0,05$) ei erinenud (joon. 5B).

4.3. Korrelatiivsed seosed vaatlusaluste vanuse, antropomeetriliste näitajate ja sääre kolmpealihase kontraktilsete omaduste vahel.

Olulised korrelatiivsed seosed vanuse, antropomeetriliste näitajate ja sääre kolmpealihase kontraktilsete omaduste näitajate vahel on toodud 20-40-aastastel naistel joonis 6 ning 50-70-aastastel naistel joonis 7.

Kahetekümneaastastel naistel esines positiivne korrelatiivne seos kehamassi ja tahtelise isomeetrilise maksimaaljõu vahel ($r=0,62$; $p<0,05$). Kolmekümneaastastel esines positiivne korrelatiivne seos kehamassi ja üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradiendi vahel nii puhke- kui ka potenseerunud olekus



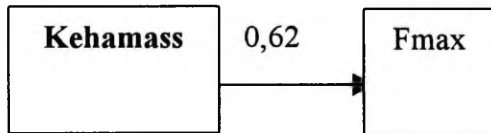
Joonis 5. Sääre kolmpealihase üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradient **A** ja lõõgastusfaasi jõugradient **B** eri vanuses naistel ($\bar{X} \pm SD$). dF/dt - puhkeolekus registreeritud kontraktsioonifaasi jõugradient; dF/dt pot - potenseerunud olekus registreeritud kontraktsioonifaasi jõugradient; -dF/dt - puhkeolekus registreeritud lõõgastusfaasi jõugradient; -dF/dt pot - potenseerunud olekus registreeritud lõõgastusfaasi jõugradient.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

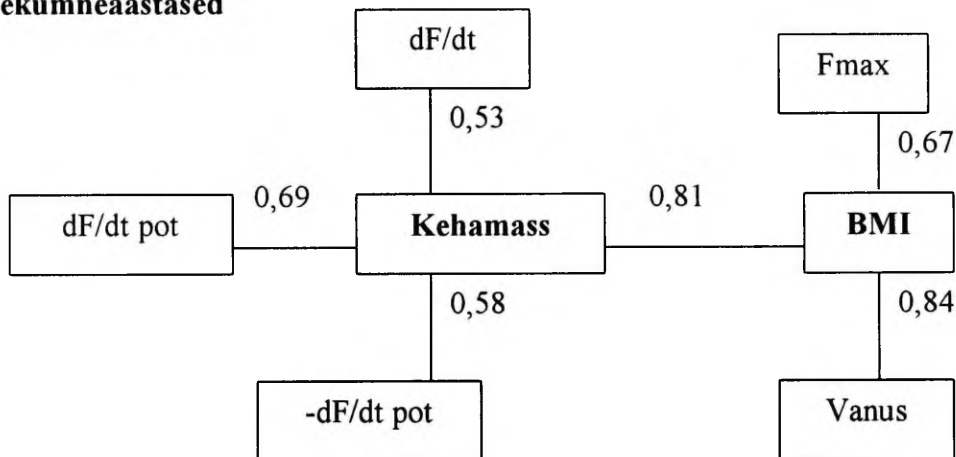
(vastavalt $r=0,53$; $p<0,05$ ja $r=0,69$; $p<0,01$) ning lõõgastusfaasi jõugradiendi vahel potenseerunud olekus ($r=0,58$; $p<0,05$). Samuti esines 30-aastastel naistel positiivne korrelatiivne seos kehamassi indeksi ja tahtelise isomeetrilise maksimaaljõu ($r=0,67$; $p<0,01$) ning vanuse vahel ($r=0,84$; $p<0,001$). Neljakümneaastastel naistel esines positiivne korrelatiivne seos kehamassi ja tahtelise maksimaaljõu ning üksikkontraktsiooni maksimaaljõu vahel (vastavalt $r=0,85$; $p<0,001$ ja $r=0,60$; $p<0,05$) ning lõõgastusfaasi jõugradiendi vahel puhkeolekus ($r=0,51$; $p<0,05$). Samuti esines 40-aastastel naistel positiivne korrelatiivne seos kehamassi indeksi ja tahtelise maksimaaljõu vahel ($r=0,80$; $p<0,001$) ning pikkuse ja tahtelise maksimaaljõu vahel ($r=0,60$; $p<0,05$). Viiekümneaastastel naistel korreleerusid kehamass ja kehamassi indeks negatiivselt potenseerumisprotsendiga (vastavalt $r=-0,70$; $p<0,05$ ja $r=-0,64$; $p<0,05$) ning kehamassi indeks üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestusega ($r=0,62$; $p<0,05$).

Kuuekümneseisekümnegaastastel naistel ei esine olulisi ($p>0,05$) korrelatiivseid seoseid kehamassi, kehamassi indeksi ja pikkuse ning sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste vahel. Olulised korrelatiivsed seosed ilmnemise 60-70-aastastel naistel aga vanuse ja lihaste kontraktiilsete omaduste näitajate vahel. Vanus korreleerub positiivselt üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestusega ($r=0,56$; $p<0,05$) ja negatiivselt üksikkontraktsiooni maksimaaljõuga puhke- ja potenseerunud olekus (vastavalt $r=-0,73$; $p<0,01$ ja $r=-0,70$; $p<0,01$); samuti kontraktsioonifaasi jõugradiendiga nii puhke- kui ka potenseerunud olekus (vastavalt $r=-0,76$; $p<0,001$ ja $r=-0,76$; $p<0,001$) ning lõõgastusfaasi jõugradiendiga potenseerunud olekus ($r=-0,71$; $p<0,001$).

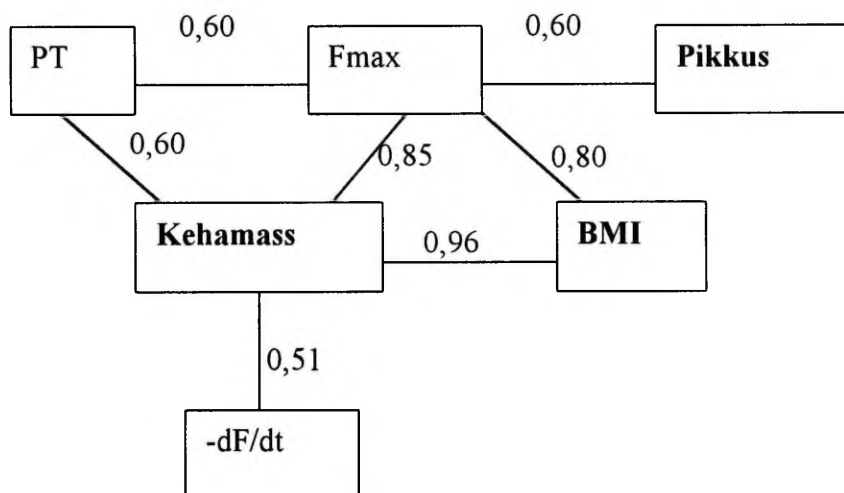
Kahekümneaastased



Kolmekümneaastased

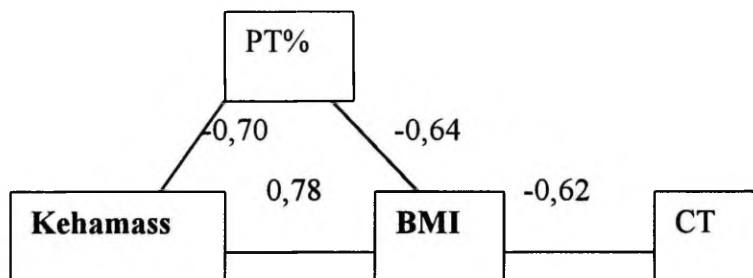


Neljakümneaastased

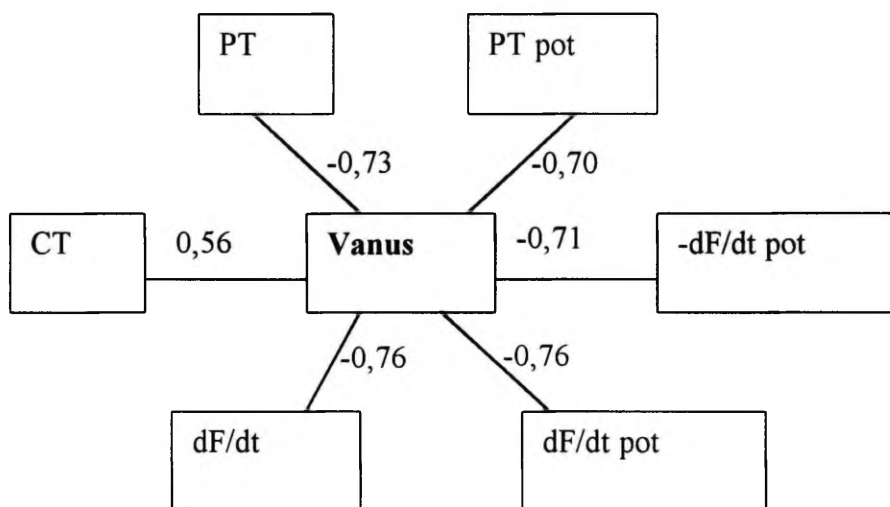


Joonis 6. Olulisemad korrelatiivsed seosed antropomeetriliste näitajate ja sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste vahel 20-40-aastastel naistel. Fmax – tahteline isomeetriline maksimaaljõud; dF/dt – elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradient puhkeolekus; dF/dt pot – üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradient potenseerunud olekus; $-dF/dt$ pot – üksikkontraktsiooni lõõgastusfaasi jõugradient potenseerunud olekus; BMI – kehamassi indeks; PT – üksikkontraktsiooni maksimaaljõud puhkeolekus; $-dF/dt$ – üksikkontraktsiooni lõõgastusfaasi jõugradient puhkeolekus.

Viiekümneaastased



Kuuekümne-seitsmekümneaastased



Joonis 7. Olulisemad korrelatiivsed seosed vanuse, antropomeetriliste näitajate ja sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste vahel 50-70-aastastel naistel. PT% - potenseerumisprotsent; BMI – kehamassi indeks; CT - elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus; PT – üksikkontraktsiooni maksimaaljõud puhkeolekus; PT pot – üksikkontraktsiooni maksimaaljõud potenseerunud olekus; dF/dt – üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradient puhkeolekus; dF/dt pot – üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradient potenseerunud olekus; -dF/dt pot – üksikkontraktsiooni lõõgastusfaasi jõugradient potenseerunud olekus.

5. TÖÖ TULEMUSTE ARUTELU

Käesolevas uurimistöös võrreldi 20-70-aastastel naistel sääre kolmpealihase kontraktiilseid omadusi eesmärgiga selgitada välja vanusega kaasnevaid muutusi närvi-lihassüsteemis. Sääre kolmpealihas võeti uurimisobjektiks seetõttu, et see lihas on aktiivne nii kehaasendite säilitamisel kui ka liigutustegevusel, eriti tugipinnal liikumisel. Kehalise aktiivsuse poolest võib vaatlusaluste gruppe pidada enam-vähem võrdseks, sest kõik uuritavad käsid keskmiselt kaks korda nädalas tervisespordi eesmärgil võimlemistreeningutel. Seejuures võistlussportlasi vaatlusaluste gruppidesse ei kuulunud. Seega ei kaasnud antud uurimustöö puhul vaatlusaluste vanuse kasvades järsku kehalise aktiivsuse langust, mida peetakse ealiste muutuste üheks peamiseks põhjuseks (Rode, Shephard 1971; Kasch et al. 1990; Mälkiä et al. 1994).

Käesoleva töö tulemustest selgus, et sääre kolmpealihase tahteline isomeetiline maksimaaljõud hakkab naistel vähenema juba 40. eluaastatel. Oluline vahe tahtelises maksimaaljõus võrreldes noortega (20-aastastega) tekib aga alles 50. eluaastast ning 60-70-aastaselt on see juba nendest peaaegu poole väiksem. Protsentuaalselt oli lihasjõu langus vastavalt 26,5% ja 47,9%. Sealjuures 50-aastaste ja 60-70-aastaste (keskmise vanusega 70,1 aastat) naiste tahtelise maksimaaljõu vahe oli 29,0%. Kuigi paljud uurijad on täheldanud lihasjõu osas platood kuni 40. eluaastate keskpaigani (Larsson 1978; Aniansson et al. 1981; Borges 1989; Stalberg et al. 1989; Cavanagh, Shephard 1990; La-Forest et al. 1990; Vandervoort 2002) ning loevad lihasjõu olulise languse alguseks 60. eluaastate algust (Aniansson et al. 1981; Viitasalo et al. 1985; Rice et al. 1989; Frontera et al. 1991; Häkkinen, Häkkinen 1991; Vandervoort 2002), ei ole varasemalt siiski nii suurt lihasjõu langust 60-70-aastaselt täheldatud. On näidatud, et üle 70-aastastel väheneb maksimaalne staatiline ja dünaamiline jõud 35-59% (Davies, White 1983) ja kuuekümne viiendaks eluaastaks on lihasjõud langenud ligikaudu 25% võrra (Asmussen 1980; Grimby, Saltin 1983; Shephard 1987). Eelpool toodud lihasjõu protsentuaalse languse kohta toodud andmete lahknevus vananemisel võib olla tingitud sellest, et eelnevates uuringutes on olnud vaatlusalusteks peamiselt mehed.

Lihaskiudude genereerimise võime langus maksimaalsel tahtelisel isomeetrilisel pingutusel võib olla tingitud vananemisega kaasnevast lihasmassi vähenemisest, mis omakorda on tingitud lihaskiudude arvu vähenemisest ja nende atroofiast (Larsson 1978; Aniansson et al. 1986; Essen-Gustavsson, Borges 1986; Alnaqeeb, Goldspink 1987; Lexell et al. 1988; Porter et al. 1995) ning motoorika juhtimise halvenemisest (Häkkinen et al. 1996, 1998). Vanusega väheneb nii aeglase kui ka kiirete lihaskiudude arv (Grimby et al. 1982; Lexell et al. 1983, 1988), kusjuures on täheldatud, et kiirete lihaskiudude arvu vähenemine on ulatuslikum (Lexell et al. 1986; Grimby et al. 1982; Aniansson et al. 1986; Aoyagi, Shephard 1992; Lexell, Downham 1992; Vandervoort 2002). Viimati mainitust tulenevalt on lihasjõu langus vananemisel ka suur, sest on teada, et kiired (II-tüüpi) lihaskiud on suutelised arendama suuremat lihaspinget kui aeglased (I-tüüpi) lihaskiud (Larsson 1978, Young et al. 1982, 1984). Lihaskiudude arvu vähenemine ja osaline atroofia on arvatavasti tingitud seljaaju motoneuronite (Doherty et al. 1993; Lexell 1995) ja motoorsete ühikute arvu vähenemisest vanematel inimestel (Borges 1989; Doherty et al. 1993; Grimby 1995; Lexell 1995). Seejuures on leitud, et skeetilihaste ja neid innerveerivate motoorsete närvide degeneratsioon algab keskmiselt 50. ja 60. eluaasta vahel (Lexell 1993; Rodgers, Evans 1993). Seega on eeltoodust näha, miks just 50- ja 60-70-aastaste naiste tahtelise isomeetrilise maksimaaljõu väärtuste vahel on nii suur erinevus.

Uuring näitas, et sarnaselt sääre kolmpealihase tahtelisele maksimaaljõule oli ka elektriliselt esile kutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõu langus seoses vananemisega oluline alles alates 50. eluaastast. Protsentuaalselt ei olnud elektriliselt esile kutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõu langus 50- ja 60-70-aastastel naistel võrreldes 20-aastastega (vastavalt 25,0% ja 30,7 %) nii suur kui tahtelise maksimaaljõu langus. Samuti ei olnud 50-aastaste ja 60-70-aastaste naiste omavahelises võrdluses üksikkontraktsiooni maksimaaljõu osas nii suurt vahet (7,5%) kui tahtelise maksimaaljõu puhul (29%). Protsentuaalne erinevus tahtelise ja üksikkontraktsiooni maksimaaljõu languste vahel viitab motoorsete ühikute rekruteerimise võime alanemisele tahtelisel pingutusel seoses vananemisega. Seetõttu kasutati käesolevas töös üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhet PT/F_{max} (Pääsuke et al. 1999b), mis iseloomustab motoorsete ühikute

rekruteerimise võimet (Bigland-Ritchie et al. 1983). Kuigi tulemustest on näha, et vanuse suurenedes ka PT/F_{\max} suurenes, ei olnud siiski antud parameetris vaatlusaluste gruppide vahel olulisi erinevusi.

Lisaks puhkeolekus elektrostimulatsiooniga esile kutsutud sääre kolmpealihase üksikkontraktsiooni parameetritele määrati samad parameetrid ka aktiivsusjärgse potenseerumise tingimustes, s.o. peale viie sekundilist maksimaalset tahtelist pingutust. Tulemustest nähtus, et puhkeolekuga võrreldes oli üksikkontraktsiooni maksimaaljõud potenseerunud olekus mõnevõrra suurem kõikides vaatlusaluste gruppides, kuid sealjuures oluline erinevus esines ainult 20- ja 30-aastastel naistel. Mitmed varasemad uuringud on näidanud, et peale tahtelist pingutust või elektrostimulatsiooniga esile kutsutud tetaanilist kontraktsiooni avaldub lihaste kontraktiilse potentsiaali mobiliseerimise ehk potenseerumise fenomen, mis väljendub nende jõugenereerimise võime ja kontraktsioonikiiruse suurenemises (Vandervoort et al. 1983; Häkkinen et al. 1995; O'Leary et al. 1997; Pääsuke et al. 1998, 2002a,b; Hamada et al. 2000). Aktiivsusjärgset potenseerumist skeletilihastes seletatakse müosiini kergete ahelate (LC_2) fosforüülmisega ja rakusisese kaltsiumi kineetikaga (Klug et al. 1982; MacIntosh, Gardiner 1987). Arvatakse, et müosiini kergete ahelate fosforüülmine suurendab ja kiirendab risticillakeste teket kontraktsioonil (s.t., et tööst võtab osa suurem hulk risticillakesi), mis võimaldab lihaskiudude kontraktsiooniaparaati ulatuslikumalt mobiliseerida ning tulemuseks on suurem jõugenereerimine (Standaert 1964; Klug et al. 1982; MacIntosh et al. 1993).

Lihase jõugenereerimise võime suurenemist aktiivsuse käigus iseloomustab potenseerumisprotsent, mis antud uurimustöös oli 20- ja 30-aastastel naistel oluliselt suurem kui 60-70-aastastel. Ka Petrella jt. (1989) näitasid, et noortel on sääre kolmpealihase aktiivsusjärgne potenseerumine suurem kui vanematel inimestel. On täheldatud, et imetajate puhul on post-tetaaniline (aktiivsusjärgne) potenseerumine rohkem väljendunud kiiretes lihaskiududes võrreldes aeglastega (Stephens, Stuart 1975; Bruke 1981). Seega üks võimalike põhjusi, miks 20- ja 30-aastaste naiste aktiivsusjärgne potenseerumine on ulatuslikum, võib olla selles, et nende lihastes on rohkem II-tüüpi lihaskiude, kuna vanuse kasvades kiirete lihaskiudude arvu vähenemine võrreldes aeglaste lihaskiududega on suurem (Lexell et al. 1986).

Tööst selgus, et elektrostimulatsiooniga esile kutsutud sääre kolmpealihase üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus hakkab vanuse kasvades oluliselt pikenema juba alates 40. eluaastatest ja seda nii puhke- kui ka potenseerunud olekus. On leitud, et isomeetrilise üksikkontraktsiooni aeg sõltub erutuse ja kontraktsiooni sidestusmehhanismi funktsioneerimise efektiivsusest, sh. rakusisese kaltsiumi liikumise kiirusest sarkoplasmaatilisest retiikulumist sarkoplasmasse (Klug et al. 1982, 1988; Kugelberg, Thornell 1983; Komi 1984). Vananedes aeglustub nii erutusjuhtivus perifeerses närvisüsteemis kui ka erutuse ülekanne neuromuskulaarsetes sünapsites (Sabbahi, Sedgwick 1982; Vandervoort, Hayes 1989). Samuti väheneb vanematel inimestel sarkoplasmaatilise retiikulumi võime vabastada erutumisel Ca^{2+} -ioone sarkoplasmasse (Klitgaard et al. 1989). Mitmed uuringud (Davies, White 1983; McDonagh et al. 1984; Vandervoort, McComas 1986; Klein et al. 1988; Petrella et al. 1989; Vandervoort, Hayes 1989; Pääsuke et al. 1999a) näitavad, et ka lihase lõõgastusaeg vananedes pikeneb. Käesoleva uurimustöö põhjal aga ei saa seda väita, sest sääre kolmpealihase üksikkontraktsiooni poole lõõgastuse ajas olulisi gruppidevahelisi erinevusi puhke- ja potenseerunud olekus ei esinenud. Üks võimalikke tulemuste lahknevuse põhjusi on see, et enamik varasemaid uuringuid on tehtud meestega ja seetõttu võib siin olulist rolli mängida sugudevaheline erinevus. Hicks ja McCartney (1986) näitasid oma uurimustöös, et kuigi üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus on naistel ja meestel sarnane, on poole lõõgastuse aeg naistel lühem kui meestel. Teine võimalik põhjus, miks käesoleva töö tulemused lahknevad ka vanemate naistega tehtud uuringutest, võib olla antud uurimustöö vaatlusaluste grupi suurem kehaline aktiivsus (kõik vaatlusalused käisid keskmiselt kaks korda nädalas võimlemistreeningutel). On teada, et regulaarse treeningu tulemusena toimuvad organismis adaptatiivsed muutused nii kesknärvisüsteemi kui ka perifeerse närvi-lihasaparaadi tasandil (Milner-Brown et al. 1975; Häkkinen et al. 1985). Võimlemise positiivset mõju lihase lõõgastuse ajale kinnitab ka ühes varasemas uuringus teostatud korrelatsioonanalüüs, kus poole lõõgastuse aeg potenseerunud olekus oli olulises negatiivses seoses treeningkordadega nädalas, st. mida rohkem kordi nädalas vaatlusalused harjutasid, seda lühem oli lihase üksikkontraktsiooni poole lõõgastuse aeg (Sirkel 2000).

Käesolev uuring näitas, et elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradient hakkab oluliselt vähenema alates viiekümnendatest eluaastatest. Kontraktsioonifaasi jõugradient, mis iseloomustab jõugenereerimise kiirust nagu ka kontraktsioonifaasi kestus, sõltub erutuse ja kontraktsiooni sidestusmehhanismi efektiivsusest ning aktiini ja müosiini vaheliste ristsillakeste moodustumise kiirusest (Klug et al. 1982; Kugelberg, Thornell 1983; Lewis et al. 1986). Ka eelnevalt tehtud uuringud näitavad, et vananevas lihases on elektriliselt esile kutsutud üksikkontraktsiooni või tetaanilise kontraktsiooni kiirus väiksem võrreldes noortega (McDonagh et al. 1984, Vandervoort, McComas 1986, Vandervoort, Hayes 1989). On täheldatud, et vanusega nõrgeneb lihasrakkudes Ca^{2+} sidumine troponiiniga kontraktsioonil (Carlsen, Walsh 1987) ning muutub lihasesiseste ensüümide aktiivsus, kusjuures oksüdatiivsete ensüümide aktiivsus suureneb ning glükolüütiliste ensüümide aktiivsus väheneb (Larsson 1978). See võib olla põhjustatud aeglase lihaskiudude suuremast osakaalust vanemate inimeste lihastes, sest vananedes on kiirete lihaskiudude degeneratsioon aeglase lihaskiududega võrreldes ulatuslikum (Jennekens et al. 1971; Grimby, Saltin 1983; Grimby et al. 1982, 1984; Larsson 1983; Lexell et al. 1986). Seega võib üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi jõugradiendi vähenemine vananedes olla tingitud kiirete lihaskiudude selektiivsest atroofiast (Larsson et al. 1979; Harris et al. 1994).

Käesolev uuring näitas, et nagu kontraktsioonifaasi jõugradient, nii ka lõõgastusfaasi jõugradient hakkab oluliselt vähenema alates viiekümnendatest eluaastatest. Lihase lõõgastusfaasi jõugradient, mis iseloomustab lihase lõõgastuskiirust, sõltub peamiselt lihasrakkude erutuse järgsest Ca^{2+} -ioonide reakumulatsioonist müoplasmaast sarkoplasmaatilisse retiikulumi ja ristsillakeste lahtihaakumise kiirusest (Westerblad et al. 1997). Sellest võib järeldada, et üksikkontraktsiooni lõõgastuskiiruse vähenemine on indikaatoriks sarkoplasmaatilise retiikulumi Ca^{2+} reakumulatsioonivõime vähenemisele vanemas eas (Klitgaard et al. 1989; Petrella et al 1989).

Lisafaktor, mis võib mõjutada inimese skeletilihaste kontraktiilseid omadusi, on järjestikku-elastse komponendi jäikus. Lihaste järjestikku-elastse komponendi

moodustavad kõõlused, samuti müofibrillide sidekoelised toesed (Z-liinid), mis on passiivseks elemendiks ning risticillakesed müosiini- ja aktiinifilamentide vahel, mis on erutunud lihase puhul aktiivseks elemendiks (Fukashiro et al. 1995; Walshe et al. 1996). On teada, et vananemisega muutub sidekoe jäikus (Vailar et al. 1985; Shadwich 1990). Järeleandlikuma, s.o. väiksema sidekoe jäikusega lihase jaoks on üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus liiga lühike selleks, et järjestikku-elastset komponenti täielikult välja venitada ning seetõttu jääb ka lihase poolt arendatav jõud väiksemaks (O'Hagan et al. 1993). Samuti võib järjestikku-elastse komponendi vähenenud jäikus põhjustada üksikkontraktsiooni aja pikenemist (Rice et al. 1993).

Korrelatsioonanalüüsi põhjal selgus, et 60-70-aastastel naistel seostusid vanusega oluliselt mitmed sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni näitajad. See tähendab, et mida vanem oli indiid, seda pikem oli kontraktsioonifaasi kestus ja väiksem üksikkontraktsiooni maksimaaljõud ning jõugradient kontraktsiooni- ja lõõgastusfaasis. Noorematel vanusegruppidel esinesid olulised korrelatiivsed seosed eelkõige kehamassi ja kehamassi indeksi ning tahtelise isomeetrilise maksimaaljõu ja üksikkontraktsiooni jõugenereerimise näitajate vahel. Mida suurem oli kehamass, seda paremad olid jõugenereerimise näitajad. Alates 50. eluaastast võib täheldada vastupidist tendentsi. Neil ilmnes kehamassil ning kehamassi indeksil negatiivne korrelatiivne seos potenseerumiseprotsendiga ja kehamassi indeksil negatiivne seos üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestusega, s.t. et suurema kehamassiga indiididel oli väiksem potenseerumine ja suurem kontraktsioonifaasi kestus. Kehamass peegeldab kaudselt ka lihasmassi osakaalu. Noorematel on lihasmassi osakaal võrreldes rasv- ja sidekoega kehakaalu määramisel suurem ja seega ka jõugenereerimise näitajad paremad. Keskeas lihaste kompositsiooniline koostis muutub (Lexell et al. 1986), kusjuures väheneb lihasmassi osakaal (Grimby et al. 1982; Lexell et al. 1983, 1988; Vandervoort 2002) ning suureneb sidekoe, eriti rasvkoe osakaal kehakaalu aspektist vaadelduna (Tilvis 1996; Zahn 1997). Naiste puhul on 50. eluaastad eriti oluliseks pöördepunktiks just seoses menopausiga, mil toimuvad hormonaalsed nihked ja väheneb lihasmass ning esineb märgatav lihasjõu langus (Zahn 1997).

Nagu käesolev uuring näitas, on 50. eluaastad naistel oluliseks lihastes toimuvate vananemisega seotud funktsionaalsete muutuste algusajaks. Sellest kümnendist alates vähenevad märgatavalt nii lihaste tahteline isomeetriline maksimaaljõud kui ka elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni jõud, samuti kontraktsiooni- ja lõõgastusfaasi jõugradiendid. Viiekümnnendatesse eluaastatesse langeb naistel ka klimakteerium, s.o. suguhormoonide produktsiooni langus ja paljunemisvõime kadumine, aga selle tulemusena toimuvad ka teistes organsüsteemides muutused. Väheneb lihasmass ja liigete elastsus ning see omakorda põhjustab lihasjõu langust ning raskendab liigutuste sooritamist (Zahn 1997). Arvatavasti on see ka põhjuseks, miks just alates 50. eluaastatest hakkavad skeetilihaste kontraktiilsed omadused naistel järsult langema.

6. JÄRELDUSED

1. Naistel hakkab viiekümnendatest eluaastatest alates nii tahtelise maksimaalse pingutuse kui ka elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni tingimustes määratud sääre kolmpealihase isomeetriline jõud vähenema.
2. Neljakümnendatest eluaastatest alates hakkab naistel sääre kolmpealihase isomeetrilise üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus oluliselt pikenema.
3. Sääre kolmpealihase isomeetrilise üksikkontraktsiooni lõõgastusfaasi kestus 20-70-aastastel naistel oluliselt ei erine, kuid alates 50. eluaastatest hakkab lihase lõõgastuskiirus naistel oluliselt vähenema.
4. Kuuekümnendatest eluaastatest alates hakkab naistel sääre kolmpealihase isomeetrilise üksikkontraktsiooni aktiivsusjärgne potenseerumine oluliselt langema.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Alnaqeeb MA, Goldspink G.** Changes in fibre type, number and diameter on developing and ageing skeletal muscle. *J. Anat.* 153: 31-45, 1987.
2. **Alnaqeeb MA, Alzrid NS, Goldspink E.** Connective tissue changes and physical properties of developing and ageing skeletal muscle. *J. Anat.* 139: 677-689, 1984.
3. **Aniansson A, Grimby G, Hedberg M, Krotkiewski M.** Muscle morphology, enzyme activity and muscle strength in elderly men and women. *Clin. Physiol.* 1: 73-86, 1981.
4. **Aniansson A, Hedberg M, Henning G-B, Grimby G.** Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: Following-up study. *Muscle Nerve* 9: 585-591, 1986.
5. **Aoyagi Y, Shephard RJ.** Aging and muscle function. *Sports Med.* 14 (6): 376-396, 1992.
6. **Appell HJ.** Proliferation of motor end-plates induced by increased muscular activity. *Int. J. Sports Med.* 5: 125-129, 1984.
7. **Appleby R.** Menopaus. Tänapäev, 2000.
8. **Asmussen E.** Aging and exercise. In: Horvath & Jousef (Eds) *Environmental Physiology: Aging, Heat and Altitude.* Elsevier, New York. pp. 419-428, 1980.
9. **Bigland-Ritchie B, Johansson R, Lippold OCD, Smith S, Woods JJ.** Changes in motoneurone firing rates during sustained maximal voluntary contractions. *J. Physiol. (Lond.)* 340: 335-346, 1983.
10. **Belt E.** Leonardo da Vinci's studies of the ageing process. *Geriatr.* 7: 205-210, 1952.
11. **Borges O.** Isometric and isokinetic knee extension and flexion torque in men and women aged 20-70. *Scand. J. Rehabil. Med.* 21: 45-53, 1989.
12. **Borkan GA, Hults DE, Gerzof SG, Robinsons AH, Silbert CK.** Age changes in body composition revealed by computed tomography. *J. Geront.* 38: 673-677, 1983.
13. **Brooks SV, Faulkner JA.** Contractile properties of skeletal muscles from young, adult and aged mice. *J. Physiol. (Lond.)* 404: 71-82, 1988.

14. **Burke RE.** Motor units: anatomy, physiology, and functional organization. In: Brooks VB (ed.) *The Nervous System, Motor Control. Handbook of Physiology*. Vol. 2, Part 1. American Physiological Society, Bethesda, pp. 345-422, 1981.
15. **Campbell MJ, McComas AJ, Petito F.** Physiological changes in ageing muscles. *J. Neurol., Neurosurg. and Psych.* 36: 174-182, 1973.
16. **Cardasis CA.** Ultrastructural evidence of continued reorganization at the ageing (11-26 months) rat soleus neuromuscular junction. *Anat. Rec.* 207: 399-415, 1983.
17. **Carlsen RC, Walsh DA.** Decrease in force potentiation and appearance of α -adrenergic mediated contracture in ageing rat skeletal muscle. *Pflügers Arch.* 408: 224-230, 1987.
18. **Cavanagh T, Shephard RJ.** Can regular sports participation slow the aging process? Some further data on master athletes. *Physician Sportsmed.* 18 (6): 94-104, 1990.
19. **Davies CTM, White MJ.** Contractile properties of elderly human triceps surae. *Gerontology* 29: 19-25, 1983.
20. **Doherty TJ, Vandervoort AA, Taylor AW, Brown WF.** Effects of motor unit losses on strength in older man and women. *J. Appl. Physiol.* 74: 868-874, 1993.
21. **Enoka R.** Muscle strength and its development. New perspectives. *Sports Med.* 6: 146-168, 1988.
22. **Essen-Gustavsson B, Borges O.** Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta Physiol. Scand.* 126: 107-114, 1986.
23. **Fleg JL, Lakatta EG.** Role of muscle loss in the age-associated reduction in VO_2max . *J. Appl. Physiol.* 65: 1147-1151, 1988.
24. **Froese EA, Houston ME.** Torque-velocity characteristics and muscle fibre type in human vastus lateralis. *J. Appl. Physiol.* 59: 309-314, 1985.
25. **Frontera W, Hughes V, Lutz K, Evans W.** A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-year-old men and women. *J. Appl. Physiol.* 71: 644-650, 1991.
26. **Fukashiro S, Itoh M, Ichinose Y, Kawakami Y, Fukunaga T.** Ultrasonography gives directly but noninvasively elastic characteristics of human tendon in vivo. *Eur. J. Appl. Physiol.* 71: 555-557, 1995.

27. **Grimby G.** Muscle performance and structure in the elderly as studied cross-sectionally and longitudinally. *J. Gerontol.* 50A:17-22, 1995.
28. **Grimby G, Saltin B.** Mini-review. The ageing muscle. *Clin. Physiol.* 3: 209-218, 1983.
29. **Grimby G, Danneskiold-Samsøe B, Hvid K, Saltin B.** Morphology and enzymatic capacity in arm and leg muscles in 78-81 year old men and women. *Acta Physiol. Scand.* 115: 125-134, 1982.
30. **Grimby G, Aniansson A, Zetterbeurg C, Saltin B.** Is there a change in relative muscle fibre composition with age? *Clin. Physiol.* 4: 189-194, 1984.
31. **Hamada T, Sale DG, MacDougall JD, Tarnopolsky MA.** Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.* 88: 2131-2137, 2000.
32. **Harris S, Suominen H, Era P, Harris WS.** Toward healthy aging – international perspectives. Part 1. Physical and biomedical aspects. Volume III: Physical Activity, Aging and Sports. Center for the Study of Aging. Albany, New York, 1994.
33. **Heikkinen E.** Liikumine kesk- ja vanemas eas: Vananemine ja seda mõjutavad tegurid. Vuori I, Taimela S (Koost.). Liikumine ja meditsiin. Medicina, Tallinn, lk 95-98, 1998.
34. **Hervonen A.** Närvisüsteem. Tilvis R, Sourander L (Koost.). Geriaatria. Medicina, Tallinn, 30-33, 1996.
35. **Heylers M, Carpentier A, Duchathen J, Mainant K.** Twitch analysis as an approach to motor unit activation during electrical stimulation. *Can. J. Appl. Physiol.* 19: 451-461, 1994.
36. **Hicks AL, McCartney N.** Gender differences in isometric contractile properties and fatigability in elderly human muscle. *Can. J. Appl. Physiol.* 21, 441-454, 1996.
37. **Häkkinen K, Häkkinen A.** Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different ages. *Eur. J. Appl. Physiol.* 62: 410-414, 1991.
38. **Häkkinen K, Komi PA, Alen M.** Effekt of explosive type strength training on isometric force- and relaxation time, electromyographic and muscle characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol. Scand.* 125: 587-600, 1985.

39. **Häkkinen K, Postinen UM, Karsikas R, Linnamo V.** Neuromuscular performance in voluntary bilateral and unilateral contraction and during electrical stimulation in men at different ages. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70: 518-527, 1995.
40. **Häkkinen K, Kraemer WJ, Kallinen M, Linnamo V, Pastinen U-M, Newton RU.** Bilateral and unilateral neuromuscular performance function and muscle cross-sectional area in middle-aged and elderly men and women. *J. Gerontol. Biol. Sci.* 51A, 1, B21-B29, 1996.
41. **Häkkinen K, Alen M, Kallinen M. et al.** Muscle cross-sectional area, force production, and neural activation of leg extensor muscle during isometric and dynamic actions in middle-aged and elderly men and women. *J. Ageing. Phys. Activity* 6: 232-247, 1998.
42. **Jennekens FGI, Tomlinson BE, Walton JN.** Histochemical aspects of five limb muscles in old age: an autopsy study. *J. Neurol. Sci.* 14: 259-276, 1971.
43. **Kasch FW, Boyer JL, Van Camp SP, Verity LS, Wallace JP.** The effect of physical activity and inactivity on aerobic power in older men (a longitudinal study). *Physician Sportsmed.* 18: 73-83, 1990.
44. **Kent-Braun JA, Ng A.** Specific strength and voluntary muscle activation in young and elderly women and men. *J. Appl. Physiol.* 87: 22-29, 1999.
45. **Klein C, Cunningham DA, Paterson DH, Taylor AW.** Fatigue and recovery contractile properties of young and elderly men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57: 684-690, 1988.
46. **Klitgaard H, Ausoni S, Damiani E.** Sarcoplasmic reticulum of human skeletal muscle: Age-related changes and effect of training. *Acta Physiol. Scand.* 137: 23-31, 1989.
47. **Klug GA, Botterman BR, Stull JT.** The effect of low frequency stimulation on myosin light chain phosphorylation in skeletal muscle. *J. Biol. Chem.* 257: 4688-4690, 1982.
48. **Klug GA, Leberer E, Leisner E, Simoneau JA, Pette D.** Relationship between parvalbumin content and the speed of relaxation in chronically stimulated fast twitch muscle. *Pflügers Arch.* 411: 126-131, 1988.

49. **Knortz KA.** Muscle physiology applied to geriatric rehabilitation. *Topics Geriatr. Rehab.* 2: 1-12, 1987.
50. **Komi PV.** Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and strength-shortening cycle on force and speed. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 12: 81-122, 1984.
51. **Kugelberg E, Thornell L-E.** Contraction time, histochemical type, and terminal cistern volume of rat motor units. *Muscle Nerve* 6: 149-152, 1983.
52. **LaForest S, St-Pierre DMM, Cyr J, Gayton D.** Effects of age and regular exercise on muscle strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 60: 104-111, 1990.
53. **Larsson L.** Morphological and functional characteristics of the ageing skeletal muscle in man: a cross-sectional study. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 457: 1-36, 1978.
54. **Larsson L.** Histochemical characteristics of human skeletal muscle during ageing. *Acta Physiol. Scand.* 117: 469-471, 1983.
55. **Larsson L, Grimby G, Karlsson J.** Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *J. Appl. Physiol.* 46: 451-456, 1979.
56. **Lewis DM, Al-Amood WS, Rosendorff C.** Stimulation of denervated muscle: what do isometric and isotonic recordings tell us? In: W.A.Nix & G.Vrbova (eds) *Electrical Stimulation and Neuromuscular Disorders.* Springer-Verlag, Berlin, pp. 101-113, 1986.
57. **Lexell J.** Ageing and human skeletal muscle: observation from Sweden. *Can. J. Appl. Physiol.* 18: 2-18, 1993.
58. **Lexell J.** Human aging, muscle mass and fiber type composition. *J. Gerontol.* 50A: 11-16, 1995.
59. **Lexell J, Downham DY.** What is the effect of ageing on type 2 muscle fibres? *J. Neurol. Sci.* 107: 250-251, 1992.
60. **Lexell J, Henriksson-Larsen K, Winblad B, Sjostrom M.** Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: effects of aging studied in whole muscle cross sections. *Muscle Nerve* 6: 588-595, 1983.
61. **Lexell J, Downham D, Sjostrom M.** Distribution of different fibre types in human skeletal muscles. Fibre type arrangement in m. vastus lateralis from three groups of healthy men between 15 and 83 years. *J. Neurol. Sci.* 72: 211-222, 1986.

62. **Lexell J, Taylor CC, Sjostrom M.** What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J. Neurol. Sci.* 84: 275-294, 1988.
63. **MacIntosh BR, Gardiner PF.** Posttetanic potentiation and skeletal muscle fatigue: interactions with caffeine. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 65: 260-268, 1987.
64. **MacIntosh BR, Grange RW, Cory CR, Houston ME.** Myosin light chain phosphorylation during staircase in fatigued skeletal muscle. *Pflügers Arch.* 425: 9-15, 1993.
65. **MacLennan WJ, Hall MRP, Timothy JJ, Robinson M.** Is weakness in old age due to muscle wasting? *Age Ageing* 9: 188-192, 1980.
66. **Makinodan T.** Biology of ageing. In: Meakins JL, McClaran JC (eds.). *Surgical Care of the Elderly.* Year Book Medical Publishers, Chicago, 1988.
67. **McDonagh MJN, White MJ, Davies CTM.** Different effects of ageing on the mechanical properties of human arm and leg muscles. *Gerontol.* 30: 49-54, 1984.
68. **Menrad D.** The ageing athlete. In: Harries M, Williams C, Stanish WD, Micheli LJ (eds.). *Oxford Textbook of Sports Medicine.* Oxford University Press, 1996.
69. **Milner-Brown HS, Stein RB, Lee RG.** Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *EEG Clin. Neurophysiol.* 38: 245-254, 1975.
70. **Mälkiä E, Impivaara O, Heliövaara M, Maatela J.** The physical activity of healthy and chronically ill adults in Finland at work, at leisure and during commuting. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 4: 82-87, 1994.
71. **O'Hagan F, Tsunoda N, Sale DG, MacDougall JD.** Elbow flexor evoked twitch contractile properties in untrained men and women and bodybuilders. *Eur. J. Appl. Physiol.* 66: 240-245, 1993.
72. **O'Leary DD, Hope K, Sale DG.** Posttetanic potentiation of human dorsiflexors. *J. Appl. Physiol.* 83: 2131-2138, 1997.
73. **Orgel LE.** The maintenance of the accuracy of protein synthesis and its relevance to aging: A correction. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 67, 1476, 1970.
74. **Payton OD, Poland JL.** Aging Process: implications for clinical practice. *Phys. Ther.* 63: 41-48, 1983.

75. **Pestronk A, Drachman DB, Griffin JW.** Effects of aging on nerve sprouting and regeneration. *Exp. Neurol.* 70: 65-82, 1980.
76. **Petrella RJ, Cunningham DA, Vandervoort AA, Paterson DH.** Comparison of twitch potentiation in the gastrocnemius of young and elderly men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58: 395-399, 1989.
77. **Pyley MJ.** Fine-tuning muscle capillary supply for maximum exercise performance. *Cardiol.* 6: 25-34, 1990.
78. **Porter MM, Myint A, Kramer JF, Vandervoort AA.** Concentric and eccentric knee extension strength in older and younger men and women. *Can. J. Appl. Physiol.* 20: 429-439, 1995.
79. **Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H.** Twitch potentiation capacity of plantarflexor muscles in endurance and power athletes. *Biol. Sport* 15: 171-178, 1998.
80. **Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H.** Comparison of twitch contractile properties of plantarflexor muscles in young and middle-aged men. *Acta Kinesiol. Univ. Tartu.* 4:161-170, 1999a.
81. **Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H.** Twitch contractile properties of plantar flexor muscles in power and endurance trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 80: 448-451, 1999b.
82. **Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H, Sirkel S, Sander P.** Age-related differences in twitch contractile properties of plantarflexor muscles in women. *Acta Physiol. Scand.* 170: 51-57, 2000.
83. **Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H, Maamägi H.** Comparison of twitch-contractile properties of plantar-flexor muscles in young and 52- to 63-year-old men. *J. Aging Phys. Activity* 10: 160-168, 2002a.
84. **Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H, Sander P, Sirkel S.** Twitch potentiation capacity of plantarflexor muscles in women with increasing age. *Biol. Sport* 19, 2002b (in press).
85. **Rice C, Cunningham D, Paterson D, Rechnitzer P.** Strength in an elderly population. *Arsh. Phys. Med. Rehabil.* 70: 391-397, 1989.

86. **Rice CL, Cunningham DA, Paterson DH, Dickinson JR.** Strength training alters contractile properties of the triceps brachii in men aged 65-78 years. *Eur. J. Appl. Physiol.* 66: 275-280, 1993.
87. **Rode A, Shephard J.** Cardiorespiratory fitness of an Arctic community. *J. Appl. Physiol.* 31: 519-526, 1971.
88. **Rodgers MA & Evans WJ.** Changes in skeletal muscle with aging: Effects of exercise training. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 21: 65-102, 1993.
89. **Rosenheimer JL.** Effects of chronic stress and exercise on age-related changes in end-plate architecture. *J. Neurophysiol.* 53: 1582-1589, 1985.
90. **Sabbahi MA, Sedgwick EM.** Age-related changes in monosynaptic reflex excitability. *J. Gerontol.* 37: 24-32, 1982.
91. **Secher NH, Rorsgaard S, Secher O.** Contralateral influence on recruitment of curarized muscle fibres during maximal voluntary extension of the legs. *Acta Physiol. Scand.* 103: 456-462, 1978.
92. **Shadwich RE.** Elastic energy storage in tendons: Mechanical difference related to function and age. *J. Appl. Physiol.* 68: 1033-1040, 1990.
93. **Shephard RJ.** Physical activity and aging, 2nd ed. Croom Helm Publishing, London, 1987.
94. **Sica REP, McComas AJ, Upton ARM, Longmire D.** Motor unit estimations in small muscles of the hand. *J. Neurol., Neurosurg. Psychiatr.* 37: 55-67, 1974.
95. **Siegel AJ, Warhol MJ, Lang E.** Muscle injury and repair in ultra long distance runners. In: Sutton JR, Brock RM, eds. *Sports Medicine for the Mature Athlete.* Benchmark Press, Indianapolis, pp. 35-43, 1986.
96. **Sirkel S.** Motoorse võimekuse näitajad 20-50-aastastel võimlemisega tegelevatel naistel. Bakalaureusetöö. Tartu, 2000.
97. **Stalberg E, Borges O, Ericsson M, Essen-Gustavsson B, Fawcett PRW et al.** The quadriceps femoris muscle in 20-70-year-old subjects: relationship between knee extension torque, electrophysiological parameters, and muscle fiber characteristics. *Muscle Nerve* 12: 382-389, 1989.
98. **Standaert FG.** The mechanisms of post tetanic potentiation in soleus and gastrocnemius muscles. *J. Gen. Physiol.* 47: 987-1001, 1964.

99. **Stebbins CL, Schultz E, Smith RT, Smith EL.** Effect of chronic exercise during aging on muscle and end-plate morphology in rats. *J. Appl. Physiol.* 58: 45-51, 1985.
100. **Stephens JA, Stuart DG.** The motor units of cat medial gastrocnemius: twitch potentiation and twitch – tetanus ratio. *Pflüg Arch.* 356: 359-372, 1975.
101. **Strauss RH.** Sports Medicine. WB Saunders, Philadelphia 1984.
102. **Tilvis R.** Vananemismuutused. Tilvis R, Sourander L (Koost.). Geriaatria. Medicina, Tallinn, lk. 25-50, 1996.
103. **Tomlinson BE, Irving D.** The numbers of limb motor neurons in the human lumbosacral cord throughout life. *J. Neurol. Sci.* 34: 213-219, 1977.
104. **Tomonaga M.** Histochemical and ultrastructural changes in senile human skeletal muscle. *J. Am. Geriatr. Soc.* 25: 125-131, 1977.
105. **Vailar AC, Pedrini VA, Pedrini-Miller A, Holloszy J.** Patellar tendon matrix changes associated with aging and voluntary exercise. *J. Appl. Physiol.* 58: 1572-1576, 1985.
106. **Vandervoort AA.** Aging of the human neuromuscular system. *Muscle Nerve* 25: 17-25, 2002.
107. **Vandervoort AA, Hayes KC.** Plantarflexor muscle function in young and elderly women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58: 389-349, 1989.
108. **Vandervoort AA, McComas AJ.** Contractile changes in opposing muscle of the human ankle joint with aging. *J. Appl. Physiol.* 61: 361-367, 1986.
109. **Vandervoort AA, Quinlan J, McComas J.** Twitch potentiation after voluntary contraction. *Exp. Neurol.* 81: 141-152, 1983.
110. **Viitasalo JT, Era P, Leskinen AL, Heikkinen E.** Muscular strength profiles and anthropometry in random samples of men aged 31 to 35, 51 to 55 and 71 to 75 years. *Ergonomics* 28: 1503-1574, 1985.
111. **Walshe AD, Wilson GJ, Murphy AJ.** The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *Eur. J. Appl. Physiol.* 73: 332-339, 1996.
112. **Walford RL.** The Immunologic Theory of Aging. Munksgaard, Copenhagen 1969.
113. **Westerblad H, Lännegren J, Allen DG.** Slewed relaxation in fatigued skeletal muscle fiber of *Xenopus* and mouse: Contribution $[Ca^{2+}]$ and cross-bridges. *J. Gen. Physiol.* 109: 385-399, 1997.

114. **Young A.** Exercise physiology in geriatric practice. Acta Med. Scan. (Suppl. 711): 227-232, 1986.
115. **Young A, Stokes M, Crowe M.** The relationship between quadriceps size and strength in elderly women. Clin. Sci. 63: 35-36, 1982.
116. **Young A, Stokes M, Crowe M.** Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. Eur. J. Clin. Invest. 14: 282-287, 1984.
117. **Zahn PK.** Vanadus ja vananemine. Schmith RF, Thews G (Koost.). Inimese füsioloogia. Tartu, lk 737-842, 1997.

Age-related changes in twitch contractile properties of skeletal muscles in women

Saima Kuu

SUMMARY

The aim of this study was to compare maximal voluntary isometric contraction (MVC) force and electrically evoked twitch contractile characteristics of the plantarflexor muscles in women aged 20-70 years. Subjects were 72 female volunteers, who were divided into five age groups: 3rd decade (mean 23,7±3,0 yrs); 4th decade (mean 36,0±2,1 yrs); 5th decade (mean 43,9±2,8 yrs); 6th (mean 54,5±3,1 yrs); 7th -8th decade (mean 70,1±4,3 yrs).

The MVC force of the plantarflexor muscles was measured by specially designed dynamometric chair. The twitch contractile properties of the plantarflexor muscles were determined by supramaximal electrical stimulation of tibial nerve in popliteal fossa by square-wave impulses with 1ms duration. Twitch maximal force (PT), contraction time (CT), half-relaxation time (HRT), rates of force development (dF/dt) and relaxation (-dF/dt) were measured in resting condition and after MVC of 5s duration (post-activation potentiation condition).

The following conclusions were made:

1. A significant decrease in isometric MVC force of the plantarflexor muscles in women takes place after 50 years of age.
2. A marked reduction in maximal force, speed of contraction and relaxation of the electrically evoked isometric twitch of the plantarflexor muscles in women takes place after 50 years of age.
3. A significant prolongation in twitch CT of the plantarflexor muscles in women takes place after 40 years of age.
4. Twitch half-relaxation time of the plantarflexor muscles did not differ significantly in women aged 20-70-years.
5. A marked reduction in twitch post-activation potentiation of the plantarflexor muscles in women takes place after 60 years of age.



LISA 1.
Ankeetküsitlus

Nimi.....

Vanus Pikkus Kehakaal

Mitu tundi Te olete päevas jalgade peal (kõnnite+seisate)....., sellest treeninguks kulub.....tundi, kõndimiseks (poodi/tööle/koeraga jne.).....tundi.

Mitu korda nädalas Te käite treeningul.....

Kui kaua olete stabiilselt treeninud?.....

Millise spordialaga Te tegelete, millisega olete veel tegelenud ja kui kaua.....

.....

Kas Teil on probleeme tervisega, milline

Kas Teil on esinenud probleeme (kui, siis milliseid) :
närvisüsteemis.....

.....

skeleti - lihassüsteemis

.....

südame/veresoonkonnaga

.....

teiste siseelunditega

.....

Kui sageli Te põete külmetushaigusi?.....

Kas Te olete sünnitanud (mitu korda?).....

Mis eesmärgil Te treenite?.....

.....

.....

.....